

PAT-NO: JP410334418A  
DOCUMENT- JP 10334418 A  
IDENTIFIER:  
TITLE: MAGNETIC HEAD AND ITS MANUFACTURE AND MAGNETIC RECORDER USING THIS MAGNETIC HEAD  
PUBN-DATE: December 18, 1998

**INVENTOR-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
KOBAYASHI, HIROSHI	
FUJITA, ATSUSHI	
KAWANO, YUJI	

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
MITSUBISHI ELECTRIC CORP	N/A

APPL-NO: JP09145461

APPL-DATE: June 3, 1997

INT-CL (IPC): G11B005/39

**ABSTRACT:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently introduce magnetic flux into a head by magnetically combine magnetization of a ferromagnetic layer with magnetization of a magnetic flux guide film and making the magnetic flux guide film continuous until a higher position than a magnetic field detecting element in the head heightwise direction.

SOLUTION: A flux guide 2 as the magnetic flux guide film is formed continuously to a higher position than the magnetic field detecting element 3 in the head heightwise direction. An upper magnetic shield 12 and a lower magnetic shield 11 provided via a nonmagnetic layer 17 above and below this flux guide 2 respectively and the magnetic field detecting element 3 provided in a prescribed position adjacent to one main surface of the flux guide 2 are buried in the nonmagnetic layer 17, while an end part of the flux guide 2 and end parts of the upper magnetic shield 12 and the lower magnetic shield 11 are disposed to be in the same plane. Magnetic flux corresponding to a recording signal according to a medium is guided to the magnetic field detecting element 3 by this flux guide 2.

COPYRIGHT: (C) 1998, JPO

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-334418

(43)公開日 平成10年(1998)12月18日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>  
G 1 1 B 5/39

識別記号

F I  
G 1 1 B 5/39

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 23 頁)

(21)出願番号 特願平9-145461

(22)出願日 平成9年(1997)6月3日

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 小林 浩

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(72)発明者 藤田 淳

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

(72)発明者 川野 裕司

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

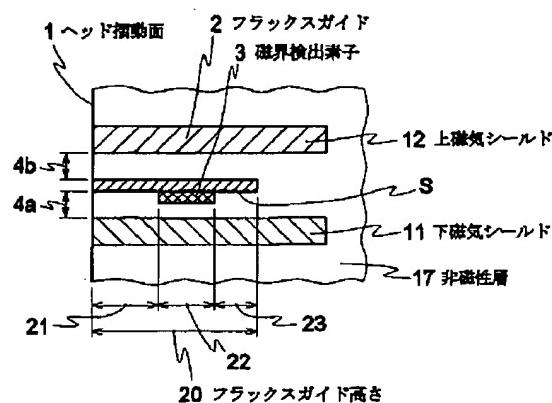
(74)代理人 弁理士 朝日奈 宗太 (外1名)

(54)【発明の名称】 磁気ヘッドおよびその製法ならびに該磁気ヘッドを用いた磁気記録装置

(57)【要約】

【課題】 磁界検出素子をヘッドの内部に配置し、ノイズが小さく高感度かつ耐磨耗性にすぐれたヘッドを提供すること。

【解決手段】 軟磁気特性を有する磁束案内膜と、該磁束案内膜の上下に非磁性層を介して設けられる磁気シールドと、磁界検出素子とを具備し、前記磁束案内膜および磁気シールドの端部が磁気ヘッドとしての摺動面の一部をなしており、該磁界検出素子は該摺動面から離れた位置にある磁界により磁化の方向が変化する強磁性層を含んでおり、該磁束案内膜が記録信号に対応した磁束を該磁界検出素子に導く磁気ヘッドであって、(1)該強磁性層が該磁束案内膜の一部分上に積層されて該強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化を磁気的に結合されており、かつ、(2)該磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して該磁界検出素子よりも高い位置まで連続している磁気ヘッドを提供する。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 軟磁気特性を有する磁束案内膜と、該磁束案内膜の上下に非磁性層を介してそれぞれ設けられる2つの磁気シールドと、該磁束案内膜の一方の主面に接する所定の位置に設けられる磁界検出素子とを具備し、該磁束案内膜および該2つの磁気シールドの端部が同一平面上となるように配設されて磁気ヘッドとしての摺動面の一部をなしており、前記磁界検出素子は該摺動面から離れた位置にある外部磁界により磁化の方向が変化する強磁性層を含んでおり、前記磁束案内膜が、該外部磁界によって規定される記録信号に対応した磁束を前記磁界検出素子に導く磁気ヘッドであって、(1)該磁界検出素子に含まれる前記強磁性層が前記磁束案内膜に直接接するように前記所定の位置上に積層されて前記強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、(2)前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記磁界検出素子よりも高い位置まで連続している磁気ヘッド。

【請求項2】 前記磁界検出素子が巨大磁気効果素子であり、該巨大磁気効果素子が第1の強磁性層、非磁性層および第2の強磁性層からなり、該第1の強磁性層が前記磁束案内膜に直接接するように前記所定の位置上に積層されて該第1の強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記巨大磁気効果素子よりも高い位置まで連続している請求項1記載の磁気ヘッド。

【請求項3】 前記摺動面と、前記磁界検出素子の、該摺動面に近い側の端面との距離が $0.1\mu m$ 以上であり、かつ、前記磁界検出素子と、該磁界検出素子に最も近接している磁気シールドとの距離の30倍を超えない請求項1または2記載の磁気ヘッド。

【請求項4】 前記磁束案内膜の前記摺動面とは反対側の端面と、前記磁界検出素子の前記摺動面から遠い側の端面との距離が、前記磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離の $1/2$ 以上10倍以下である請求項1または2記載の磁気ヘッド。

【請求項5】 前記磁束案内膜の飽和磁化を $M_f$ 、膜厚を $T_f$ とし、前記磁界検出素子の感磁部の飽和磁化を $M_1$ 、膜厚を $T_1$ としたとき、 $0.2 \leq (M_1 \cdot T_1) / (M_f \cdot T_f) \leq 0.7$ である請求項1または2記載の磁気ヘッド。

【請求項6】 前記磁束案内膜の膜厚 $T_f$ が $0.5 nm \leq T_f \leq 20 nm$ である請求項1または2記載の磁気ヘッド。

【請求項7】 磁気ヘッドと磁気記録媒体とを有してなり、該磁気ヘッドが、軟磁気特性を有する磁束案内膜と、該磁束案内膜の上下に非磁性層を介してそれぞれ設けられる2つの磁気シールドと、該磁束案内膜の一方の主面に接する所定の位置に設けられる磁界検出素子とを具備し、該磁束案内膜および該2つの磁気シールドの端

2

部が同一平面上となるように配設されて磁気ヘッドとしての摺動面の一部をなしており、前記磁界検出素子は該摺動面より離れた位置にある外部磁界により磁化の方向が変化する強磁性層を含んでおり、前記磁束案内膜が、該外部磁界によって規定される記録信号に対応した磁束を前記磁界検出素子に導き、前記磁気記録媒体がフレキシブル媒体であり、該磁気記録媒体に含まれる磁性粒子と該磁性粒子を保持するバインダを含んでなる磁気記録装置であって、(1)前記磁界検出素子に含まれる前記強磁性層が前記磁束案内膜に直接接するように前記所定の位置上に積層されて前記強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、(2)前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記磁界検出素子よりも高い位置まで連続している磁気記録装置。

【請求項8】 前記磁界検出素子が巨大磁気効果素子であり、該巨大磁気効果素子が第1の強磁性層、非磁性層および第2の強磁性層からなり、該第1の強磁性層が前記磁束案内膜の一部分上に積層されて該第1の強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記巨大磁気効果素子よりも高い位置まで連続している請求項7記載の磁気記録装置。

【請求項9】 前記摺動面と、前記磁界検出素子の、該摺動面に近い側の端面との距離が $0.1\mu m$ 以上であり、かつ、前記磁界検出素子と、該磁界検出素子に最も近接している磁気シールドとの距離の30倍を超えない請求項7または8記載の磁気記録装置。

【請求項10】 前記磁束案内膜の前記摺動面とは反対側の端面と、前記磁界検出素子の前記摺動面から遠い側の端面との距離が、前記磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離の $1/2$ 以上10倍以下である請求項7または8記載の磁気記録装置。

【請求項11】 前記磁束案内膜の飽和磁化を $M_f$ 、膜厚を $T_f$ とし、前記磁界検出素子の感磁部の飽和磁化を $M_1$ 、膜厚を $T_1$ としたとき、 $0.2 \leq (M_1 \cdot T_1) / (M_f \cdot T_f) \leq 0.7$ である請求項7または8記載の磁気記録装置。

【請求項12】 前記磁束案内膜の膜厚 $T_f$ が $0.5 nm \leq T_f \leq 20 nm$ である請求項7または8記載の磁気記録装置。

【請求項13】 前記磁気記録媒体の平均表面粗さが $0.1 nm$ 以上 $10 nm$ 以下である請求項7または8記載の磁気記録装置。

【請求項14】 (a-1)第1の磁気シールド膜を形成する工程、(a-2)第1の絶縁層を形成する工程、(a-3)磁界検出素子を順次積層する工程、(a-4)磁界検出素子高さを規制する工程、(a-5)磁界検出素子高さの規制に用いたレジストを残したまま第2の絶縁膜を形成し、そのうちにリフトオフする工程、(a-6)磁束案内膜を形成する工程、(a-7)配線材料膜をリフトオフ法で形成する工

程、(a-8)磁束案内膜高さを規制する工程、(a-9)第3の絶縁層を形成する工程、および、(a-10)第2の磁気シールド膜を形成する工程、を含む磁気ヘッドの製法。

【請求項15】 (b-1)第1の磁気シールド膜を形成する工程、(b-2)第1の絶縁層を形成する工程、(b-3)第1の磁束案内膜を形成する工程、(b-4)磁界検出素子を順次積層する工程、(b-5)磁界検出素子高さを規制する工程、(b-6)磁界検出素子高さの規制に用いたレジストを残したまま第2磁束案内膜を形成し、そのうちにリフトオフする工程、(b-7)配線材料膜をリフトオフ法で形成する工程、(b-8)磁束案内膜高さを規制する工程、(b-9)第2の絶縁層を形成する工程、および、(b-10)第2の磁気シールド膜を形成する工程、を含むことを特徴とする磁気ヘッドの製法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は磁気ヘッドおよびその製法ならびに該磁気ヘッドを用いた磁気記録装置に関する。さらに詳しくは、高い線記録密度を有し、磁気ヘッドの磨耗が生じうる近接記録または接触記録を行う磁気ヘッドおよびその製法ならびに該磁気ヘッドを用いた磁気記録装置に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】近年、ハードディスク装置を中心に記録密度の著しい向上がみられ、その一因としてパーマロイなどの磁気抵抗効果素子を用いた、いわゆるシールド型MR(magnetoresistive)ヘッドの採用があげられる。また、たとえば日経エレクトロニクス、No. 971(平成8年9月23日)84~93頁に記載されているように、一般にスピンバルブと言われる巨大磁気抵抗効果の一方式を用いたいわゆるGMR(giant-magnetoresistive)ヘッドの採用が始まろうとしている。

【0003】しかしながら、この巨大磁気抵抗効果素子の端面が磁気記録媒体近接面に露出している構造の一般的なGMRヘッドは、磁気ヘッドの磨耗を前提としない浮上方式の記録装置に用いられているものである。一方、磁気ヘッド(以下、単に「ヘッド」ともいう)が、磁気記録媒体(以下、単に「媒体」ともいう)との接触が無視できない構造とされている方式の記録装置においては、ヘッドと媒体との接触摺動が起こる。あるいは浮上方式であっても浮上距離が媒体の表面粗さと同程度であるならば、ヘッドと媒体との接触が一定の頻度で想定されることとなる。このようにヘッドと媒体との接触が生じうる構造の記録装置では、磨耗によるGMR素子の損傷などが起こるので、現在はGMR素子は用いられていない。このような記録装置においては、磁界検出素子、たとえばMR素子またはGMR素子をヘッドの内部に配置する必要がある。この方法としては、たとえば特開平8-255312号公報に開示されるような磁束案内膜すなわちフラックスガイドを用いるのが一般的であ

る。図31に従来のフラックスガイド型MRヘッドをその側面から見た断面説明図を、図32に上面から見た断面説明図をそれぞれ示す。図31および図32において、1はヘッド摺動面(以下、単に「摺動面」ともいう)であり、2aおよび2bはフラックスガイドであり、3aはMR素子であり、5aおよび5bはフラックスガイドとMR素子との磁気ギャップであり、7は磁気記録媒体(媒体)であり、8aおよび8bは電極であり、9はトラック幅であり、11は下磁気シールドであり、12は上磁気シールドであり、Isはセンス電流である。本明細書の以下の説明において、ヘッドからみて摺動面側を前といい、摺動面と反対側を後ろという。

【0004】このヘッドの構成は、下磁気シールド11と上磁気シールド12とのあいだにMR素子3aが配置されているとともに、MR素子3aの前後にそれぞれMR素子3aとは電気的に絶縁されてフラックスガイド2aおよび2bがある。磁気記録媒体7と対面する磁気ヘッドの先端面、すなわち、摺動面上に前方のフラックスガイド(以下、前フラックスガイドという)2aの先端部が露出しているとともにその後端部が磁気ギャップ5aを介してMR素子3aの前端部と重なり合っている。また、同様にMR素子3aの後端部は磁気ギャップ5bを介して後方のフラックスガイド(以下、後ろフラックスガイドという)2bの先端部と重なり合っている。また9はトラック幅に相当する。

【0005】以下に、このヘッドの動作について説明する。磁気記録媒体から発生する信号磁界は、前フラックスガイド2a、MR素子3a、後ろフラックスガイド2bの順に通過し、下磁気シールド11および上磁気シールド12あるいは、磁気ヘッド後端の空間(図31に向かって右方)に流れしていく。MR素子3a中を通過する信号磁束によりMR素子3aの電気抵抗が変化するので、MR素子3aのトラック幅方向の両端に設けられる電極8aおよび8bよりMR素子3aにセンス電流Isを流すことにより電極8aと電極8bとのあいだの電圧変化として信号磁界を再生することができる。MR素子は前方および後方のフラックスガイド2aおよび2bとは絶縁されているので、センス電流IsはMR素子のみに流れる。この基本的な動作はMR素子3aがスピナーバルブなどのGMR素子であっても同様である。

##### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】前記フラックスガイド型MR素子を用いたヘッド(以下、フラックスガイド型MRヘッドという)の問題の一つは、通常のシールド型MR素子を用いたヘッド(以下、シールド型MRヘッドという)よりも媒体から発生する信号磁界をセンス電流の電圧変化として変換する効率がかなり劣ることである。その理由を説明する。

【0007】シールド型MRヘッドにおいては、信号磁界はMR素子を通過し、下磁気シールド11および上磁

気シールド12あるいは、磁気ヘッド後端の空間に流れいく。すなわち、シールド型MRヘッドのMR素子には、媒体から発生する信号磁界が直接入る。

【0008】一方、フラックスガイド型MRヘッドにおいては、MR素子に、前フラックスガイド2aの磁気抵抗、前フラックスガイド2aとMR素子3とのあいだの磁気ギャップ5aの磁気抵抗をそれぞれ通過したのちの磁束が入るため、MR素子に入る前に大半の信号磁束は上下の磁気シールドに吸収されてしまう。このように、フラックスガイド型MRヘッドは、信号磁束が磁気シールドに吸収されるので、信号磁界を変換する効率が低い。また、フラックスガイド型MRヘッドでは前フラックスガイド2aとMR素子3aとのあいだの磁気ギャップ5aの磁気抵抗が著しく大きい。信号磁界を変換する効率が低く、磁気ギャップの磁気抵抗が大きいという問題点はフラックスガイド型MRヘッドの構造に起因している。

【0009】また、GMR素子をヘッドの内部に配置する手段として、たとえば特開平8-287416号公報に、フラックスガイドを用いずにGMR素子膜と、GMR素子膜よりも摺動面側に配置されたMR素子膜の感磁部を共通とすることにより、フラックスガイドによる出力低下を防ぐ構造が記載されている。

【0010】さらに、特開平8-287416号公報には、高出力がえられるのは、MR高さがヘッドの浮上量よりも小さい範囲であり、たとえば浮上量が20nmのばあいはMR素子膜の幅が10~20nmの範囲で高出力がえられることが記載されている。しかしながら、浮上量が20nmあるいは、接触記録方式においてMR素子膜の幅が20nm程度であるならば、ヘッドと媒体との接触によるヘッド摺動面における磨耗傷の深さが20nmを超えることが充分ありうるので、GMR素子の摺動面側の層構造を乱す可能性がある。また、ヘッドの磨耗に対しても、最大20nm程度しか裕度がない。とくに磁気記録媒体として、磁性層を塗布したフレキシブル媒体を用いることができ、フレキシブル媒体は安価な可換媒体であるが、ヘッドの磨耗はさらに大きくなり、摺動面側の層構造を乱す可能性があるという問題はより顕著になる。

【0011】また、たとえば特開平7-230610号公報には従来のフラックスガイド型MRヘッドの一例が開示されている。図33は従来のフラックスガイド型MRヘッドの上面からみた断面説明図である。図33において、14は下ギャップであり、その他の符号は図31および図32と共通である。図33に示すように、前フラックスガイド2a、MR素子3a、後ろフラックスガイド2bが接して配置され、前フラックスガイド2aの膜厚、および前フラックスガイドの比抵抗とMR素子3aの比抵抗の比を所定の範囲に設定するヘッドが記載されている。しかしながら、前フラックスガイド2aの膜

厚は0.02μm、望ましくは0.05μm以上でないと、高い再生出力をうることができないため、高い線記録密度に対応できないという問題点がある。

【0012】また、この構造では前フラックスガイドとMR素子3aの界面で磁化回転に対するピン止めが発生しやすい。このピン止めにより、磁化の回転が不連続となり再生信号が歪むバルクハウゼンノイズが発生しやすいという問題点がある。

【0013】本発明は前述のような問題を解決するためになされたものであり、本発明の目的は磁界検出素子をヘッドの内部に配置し、高感度かつ耐磨耗性にすぐれたヘッドを提供することにある。

【0014】また、本発明の他の目的は磁界検出素子をヘッドの内部に配置し、高感度かつ耐磨耗性にすぐれたヘッドを安価に製造する方法を提供することにある。

【0015】また、本発明のさらに他の目的は磁界検出素子をヘッドの内部に配置し、高感度かつ耐磨耗性にすぐれたヘッドと磁性層を塗布したフレキシブル媒体とを用いた記録装置を提供することにある。

#### 【0016】

【課題を解決するための手段】本発明の請求項1にかかる磁気ヘッドは軟磁気特性を有する磁束案内膜(フラックスガイド)と、該磁束案内膜の上下に非磁性層を介してそれぞれ設けられる2つの磁気シールドと、該磁束案内膜の一方の主面に接する所定の位置に設けられる磁界検出素子とを具備し、該磁束案内膜および該2つの磁気シールドの端部が同一平面上となるように配設されて磁気ヘッドとしての摺動面の一部をなしており、前記磁界検出素子は該摺動面から離れた位置にある外部磁界により磁化の方向が変化する強磁性層を含んでおり、前記磁束案内膜が、外部磁界によって規定される記録信号に対応した磁束を前記磁界検出素子に導く磁気ヘッドであって、(1)該磁界検出素子に含まれる前記強磁性層が前記磁束案内膜に直接接するように前記所定の位置上に積層されて前記強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、(2)前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記磁界検出素子よりも高い位置まで連続している磁気ヘッドである。

【0017】本発明の請求項2にかかるヘッドにおいては、前記磁界検出素子が巨大磁気効果素子であり、該巨大磁気効果素子が第1の強磁性層、非磁性層および第2の強磁性層からなり、該第1の強磁性層が前記磁束案内膜の一部分上に積層されて該第1の強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記巨大磁気効果素子よりも高い位置まで連続していることが、フラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入でき、かつフラックスガイドの、信号磁界に応じた磁化の回転と磁界検出素子の感磁部の磁化の回転を直接的に結合できるため、高効率のヘッド

をううことができるので好ましい。

【0018】本発明の請求項3にかかるヘッドにおいては、前記摺動面と、前記磁界検出素子の、該摺動面に近い側の端面との距離が0.1μm以上であり、かつ、前記磁界検出素子と、該磁界検出素子に最も近接している磁気シールドとの距離の30倍を超えないことが、フラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入できるため、高効率のヘッドをううことができるので好ましい。

【0019】本発明の請求項4にかかるヘッドにおいては、前記磁束案内膜の前記摺動面とは反対側の端面と、前記磁界検出素子の前記摺動面から遠い側の端面との距離が、前記磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離の1/2以上10倍以下であることが、フラックスガイドの磁界検出素子に交換結合により磁気的に結合している部分まで、効率よく信号磁界に対応した磁束を導くことができるので、高効率のヘッドをううことができるので好ましい。

【0020】本発明の請求項5にかかるヘッドにおいては、前記磁束案内膜の飽和磁化をM<sub>f</sub>、膜厚をT<sub>f</sub>とし、前記磁界検出素子の感磁部の飽和磁化をM<sub>1</sub>、膜厚をT<sub>1</sub>としたとき、0.2≤(M<sub>1</sub>·T<sub>1</sub>)/(M<sub>f</sub>·T<sub>f</sub>)≤0.7であることが、フラックスガイドの磁区の制御が容易であり、再生感度が高く、ノイズが小さいヘッドをううことができるので好ましい。

【0021】本発明の請求項6にかかるヘッドにおいては、前記磁束案内膜の膜厚T<sub>f</sub>が0.5nm≤T<sub>f</sub>≤20nmであることが、高効率なヘッドをううことができるので好ましい。

【0022】本発明の請求項7にかかる磁気記録装置は磁気ヘッドと磁気記録媒体とを有し、該磁気ヘッドが、軟磁気特性を有する磁束案内膜と、該磁束案内膜の上下に非磁性層を介してそれぞれ設けられる2つの磁気シールドと、該磁束案内膜の一方の主面に接する所定の位置に設けられる磁界検出素子とを具備し、該磁束案内膜および該2つの磁気シールドの端部が同一平面上となるように配設されて磁気ヘッドとしての摺動面の一部をなしており、前記磁界検出素子は該摺動面より離れた位置にある外部磁界により磁化の方向が変化する強磁性層を含んでおり、前記磁束案内膜が、該外部磁界によって規定される記録信号に対応した磁束を前記磁界検出素子に導き、前記磁気記録媒体がフレキシブル媒体であり、該磁気記録媒体に含まれる磁性粒子と該磁性粒子を保持するバインダを含んでなる磁気記録装置であって、

(1) 前記磁界検出素子に含まれる前記強磁性層が前記磁束案内膜に直接接するように前記所定の位置上に積層されて前記強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、(2) 前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記磁界検出素子よりも高い位置まで連続している磁気記録装置である。

【0023】本発明の請求項8にかかる磁気記録装置においては、前記磁界検出素子が巨大磁気効果素子であり、該巨大磁気効果素子が第1の強磁性層、非磁性層および第2の強磁性層からなり、該第1の強磁性層が前記磁束案内膜の一部分上に積層されて該第1の強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記巨大磁気効果素子よりも高い位置まで連続していることが、磁束案内膜に流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入でき、かつ磁束案内膜の、信号磁界に応じた磁化の回転と磁界検出素子の感磁部の磁化の回転を直接的に結合できるため、高効率のヘッドをううことができるので好ましい。

【0024】本発明の請求項9にかかる磁気記録装置においては、前記摺動面と、前記磁界検出素子の、該摺動面に近い側の端面との距離が0.1μm以上であり、かつ、前記磁界検出素子と、該磁界検出素子に最も近接している磁気シールドとの距離の30倍を超えないことが、フラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入できるため、高効率のヘッドをううことができるので好ましい。

【0025】本発明の請求項10にかかる磁気記録装置においては、前記磁束案内膜の前記摺動面とは反対側の端面と、前記磁界検出素子の前記摺動面から遠い側の端面との距離が、前記磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離の1/2以上10倍以下であることが、フラックスガイドの磁界検出素子に交換結合により磁気的に結合している部分まで、効率よく信号磁界に対応した磁束を導くことができるので、高効率のヘッドをううことができるので好ましい。

【0026】本発明の請求項11にかかる磁気記録装置においては、前記磁束案内膜の飽和磁化をM<sub>f</sub>、膜厚をT<sub>f</sub>とし、前記磁界検出素子の感磁部の飽和磁化をM<sub>1</sub>、膜厚をT<sub>1</sub>としたとき、0.2≤(M<sub>1</sub>·T<sub>1</sub>)/(M<sub>f</sub>·T<sub>f</sub>)≤0.7であることが、フラックスガイドの磁区の制御が容易であり、再生感度が高く、ノイズが小さいヘッドをううことができるので好ましい。

【0027】本発明の請求項12にかかる磁気記録装置においては、前記磁束案内膜の膜厚T<sub>f</sub>が0.5nm≤T<sub>f</sub>≤20nmであることが、高効率なヘッドをううことができるので好ましい。

【0028】本発明の請求項13にかかる磁気記録装置においては、前記磁気記録媒体の平均表面粗さが0.1nm以上10nm以下であることが、安価な磁気記録装置をううことができるので好ましい。

【0029】本発明の請求項14にかかる磁気ヘッドの製法は、(a-1) 第1の磁気シールドを形成する工程、(a-2) 第1の絶縁層を形成する工程、(a-3) 磁界検出素子を順次積層する工程、(a-4) 磁界検出素子高さを規制する工程、(a-5) 磁界検出素子高さの規制に用いたレジス

トを残したまま第2の絶縁膜を形成し、そのちにリフトオフする工程、(a-6)磁束案内膜を形成する工程、(a-7)配線材料膜をリフトオフ法で形成する工程、(a-8)磁束案内膜高さを規制する工程、(a-9)第3の絶縁層を形成する工程、および、(a-10)第2の磁気シールドを形成する工程、を含んでいる。

【0030】また、本発明の請求項15にかかる磁気ヘッドの製法は、(b-1)第1の磁気シールドを形成する工程、(b-2)第1の絶縁層を形成する工程、(b-3)第1の磁束案内膜を形成する工程、(b-4)磁界検出素子を順次積層する工程、(b-5)磁界検出素子高さを規制する工程、(b-6)磁界検出素子高さの規制に用いたレジストを残したまま第2磁束案内膜を形成し、そのちにリフトオフする工程、(b-7)配線材料膜をリフトオフ法で形成する工程、(b-8)磁束案内膜高さを規制する工程、(b-9)第2の絶縁層を形成する工程、および、(b-10)第2の磁気シールドを形成する工程、を含んでいる。

【0031】MRやGMRなどを用いる磁界検出素子は感磁部の磁化の向きの変化、すなわち磁化回転角の変化により信号が変化するものである。従来のフラックスガイド型のヘッドは信号磁界に対応する磁束をフラックスガイド内部に導入し、それにより磁界検出素子に磁界を印加し、その結果として感磁部の磁化の向きを変化させている。このため、信号磁界と磁界検出素子とのあいだには、磁束に変換し、磁界に変換し、さらに磁化回転角に変換するという3段階の変換があり、磁化の変化を検出するためには非効率である。

【0032】本発明によれば、交換結合によりフラックスガイド内部での磁化回転（以下、単に「フラックスガイドの磁化回転」という）を直接的に磁界検出素子の感磁部内部での磁化回転（以下、単に「感磁部の磁化回転」という）とするため、信号磁界と磁界検出素子とのあいだの交換効率が極めてよく、またフラックスガイドは磁界検出素子よりもさらにヘッド内部まで連続しているので、フラックスガイドの摺動面と反対側の端部に現れ\*

$$R = (M_f \cdot T_f) / (M_f \cdot T_f)$$

(1)

によってえられる比Rの値を、0.2以上かつ0.7以下としたことにより、磁界検出素子の感磁部の機能を失わない範囲で磁界検出素子の感磁部の磁気特性がフラックスガイドの磁化回転動作に与える影響を少なくすることができます。

【0037】さらに、フラックスガイドの膜厚が5nm以上であることにより、媒体から発生した信号磁界に対応してフラックスガイド中に引き込まれる磁束を大きくするとともに、フラックスガイド内で磁界検出素子の感磁部において交換結合により磁気的に結合された部分の磁気特性が感磁部の磁気特性の影響を受けにくくすることができる。また、フラックスガイドの膜厚が20nm以下であることにより、長手方向の感度を向上させ、磁気シールドとの絶縁を容易にすることができる。

\* る磁極による反磁界の影響が少なく、媒体から発生した信号磁界に対応する磁束をフラックスガイド中に高効率でヘッド内部まで導くことができる。さらに、フラックスガイドが連続しているため、バルクハウゼンノイズ発生の起因となる、磁化回転をピン留めする部分が発生しにくい。

【0033】以上のため、ヘッドと媒体とが接触するときに発生する摩擦熱により生じる信号の乱れを一般にサーマルアスペリティーというが、このサーマルアスペリティーやヘッド磨耗などに対して裕度をもたせるように磁界検出素子をヘッドの内部に配置したが、従来のヘッドに比べてなお高い再生感度と安定性とを有しうる。

【0034】さらに、磁界検出素子の端部とヘッド摺動面との距離が0.1μm以上あることにより、ヘッドの耐摩耗特性を向上させることができる。また、前記距離が、上下いずれかの磁気シールドのうち、もっとも近接している部分の距離の30倍以下であることにより、媒体から発生した信号磁界に対応し、フラックスガイドに引き込まれた磁束が磁界検出素子の端部に到達するまでに磁気シールドに吸収されることにより減衰するのを小さくすることができる。

【0035】さらに、フラックスガイドの磁気ヘッド摺動面の反対側の端面と、磁界検出素子の磁気ヘッド摺動面から遠い側の端面との距離が、磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離である磁界検出素子高さの1/2以上あることにより、磁界検出素子の磁気ヘッド摺動面から遠い側の端面の位置においてもフラックスガイドを通過する磁束の減衰を小さくすることができる。

【0036】さらに、磁束案内膜の飽和磁化をM\_f、膜厚をT\_fとし、磁界検出素子の感磁部の飽和磁化をM\_1、膜厚をT\_1とあらわし、磁束案内膜または磁界検出素子の感磁部が多層膜で構成されていたばあい、M\_f・T\_fおよびM\_1・T\_1は各層の飽和磁化と膜厚との積を加算した数値であらわすものとしたとき、式(1)：

※【0038】また、反強磁性層、第2の強磁性層、非磁性層、第1の強磁性層膜が順次積層されている磁界検出素子において、2つの工程すなわち、(a-4)磁界検出素子高さを規制する工程と、(a-5)磁界検出素子高さの規制に用いたレジストを残したまま第2の絶縁膜を形成し、そのちにリフトオフする工程と、をもちいることにより、フラックスガイドがGMR素子に含まれる反強磁性層、第2の強磁性層などに接触するので磁気特性が乱れることを防止することができる。また、フラックスガイドの成膜面を平坦にすることによりフラックスガイドの磁気特性の安定性をううことができる。

【0039】また、第1の強磁性層、非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性層が順次積層されている磁界検出素子において、2つの工程すなわち、(b-3)第1のフラッ

## 11

クスガイド膜を形成する工程と、(b-4)第1の強磁性層、非磁性層、第2の強磁性層、反強磁性層を順次積層する工程とを行い、さらに、(b-5)磁界検出素子高さを規制する工程と、(b-6)磁界検出素子高さの規制に用いたレジストを残したまま第2フラックスガイドを形成し、そのうちにリフトオフする工程とを用いることにより、磁界検出素子高さを規制する工程をリフトオフ法を用いずに製造することができるので、磁界検出素子の特性の安定化がえられる。

【0040】また、安価ではあるが表面粗さがスパッタハードディスク媒体に比較して劣るフレキシブル媒体に対しても、本発明にかかるヘッドは一定量の磨耗を許容できるので、信頼性の高いヘッドメディアインターフェイスをうる。また、同様にサーマルアスペリティーに対しても、磁界検出素子を摺動面から充分に離すことができるので、ヘッドの摩耗の問題を回避できる。さらに、フレキシブル媒体の平均表面粗さRaを10nm以下にすることによって、前述した問題の許容度を増すことができるとともに、接触記録方式や低浮上記録方式のばあいの実効的な空隙損失を媒体の表面粗さとほぼ無関係にすることができます。

## 【0041】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照しつつ、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0042】実施の形態1. 図1および図2はそれぞれ本発明の一実施の形態にかかる磁気ヘッド（ヘッド）の主要部を側面から見た断面説明図および下部から見た断面説明図である。図1において1はヘッド摺動面（摺動面）であり、2は磁束案内膜であるフラックスガイドであり、たとえば組成Co<sub>91.6</sub>Zr<sub>2.5</sub>Nb<sub>5.9</sub>（at%）の膜がスパッタ法で成膜され、厚さ約10nmのトラック幅方向に一軸異方性を有しており、つぎに述べる磁界検出素子3よりもヘッド高さ方向（摺動面の法線方向、以下、単にヘッド高さ方向という）に対して高い位置まで連続するよう形成されている。また、3は磁界検出素子であり、11は下磁気シールドであり、12は上磁気シールドであり、4aは磁気シールド11の上面とフラックスガイド2の下面との距離に相当する下ギャップ長であり、4bは上磁気シールド11の下面とフラックスガイド2の上面との距離に相当する上ギャップ長である。17は非磁性層であり、20はフラックスガイドの全長であるフラックスガイド高さであり、21は摺動面1と、磁界検出素子3の摺動面1に近い側の端面との距離に相当する引き込み高さであり、22は磁界検出素子3の幅に相当する磁界検出素子高さであり、23は磁界検出素子3の摺動面1から遠い側の端面とフラックスガイド2の摺動面1と反対側の端面との距離に相当する流出高さである。図1に示されたヘッドの主要部のうち、フラックスガイド、磁界検出素子ならびに上磁気シールドおよび下磁気シールド以外の部分は非磁性層17

## 12

である。また、図2において、8aおよび8bは電極であり、9は再生トラック幅に相当する。図1および図2に示されたように、本発明にかかるヘッドは、フラックスガイドと、フラックスガイドの上下に非磁性層17を介してそれぞれ設けられる上磁気シールドおよび下磁気シールドと、フラックスガイドの一方の主面（図1において符号Sで示される）に接する所定の位置に設けられる磁界検出素子とが、非磁性層17に埋め込まれるようにして、かつフラックスガイドの端部ならびに上磁気シールドおよび下磁気シールドの端部が同一平面上となるように配設されてこの平面がヘッドとしての摺動面の一部をなすようにされている。フラックスガイド2は、媒体による記録信号に対応した磁束を磁界検出素子に導くものであり、軟磁気特性を有する材料によって形成され、材料の例としてCo-Zr-Nbをあげることができる。上下の磁気シールドは軟磁気特性を有する材料が用いられ、例としてCo-Zr-Nbなどをあげることができる。また、これらの構成要素は、たとえばAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>などからなる非磁性層17中に埋め込むようにして配設されている。

【0043】磁界検出素子の一例として図3にスピンドルラブ構造のGMR素子の断面拡大説明図を示す。図3において、31は31aおよび31bの2層からなる第1の強磁性層であり、第1の強磁性層は磁界検出素子の感磁部に相当しており、たとえば31aは厚さ4nmのバーマロイ膜、31bは厚さ1nmのCo膜が、フラックスガイド2の所定的一部分上すなわち図1の符号Sで表される主面上でかつて、たとえば引き込み高さ21が0.3μm、磁界検出素子高さ22が0.5μm、流出高さ23が0.3μmになる位置に積層されている。32は第1の強磁性層と第2の強磁性層との交換結合を切り離すための非磁性層よりなるスペーサであり、たとえば厚さ2.3nmのCu膜である。33は33aおよび33bの2層からなる第2の強磁性層であり、たとえば33aは厚さ4nmのバーマロイ膜であり、33bは厚さ1nmのCo膜である。また、34はたとえば厚さ50nmのNiOよりなる反強磁性層である。

【0044】磁界検出素子としては、GMR素子のほかにはMR素子やトンネルMR素子（以下、TMR素子といいう）を用いることができる。TMR素子は、第1の強磁性層と第2の強磁性層の相対的な磁化の向きの差により、第1の強磁性層と第2の強磁性層とのあいだに流れるトンネル電流が変化する効果を利用するものである。MR素子を用いるばあいには、磁界検出素子としては第1の強磁性層すなわち磁界検出素子の感磁部のみでよい。また、磁界検出素子の感磁部の磁化の向きを、磁化容易軸方向であるトラック幅方向からヘッド高さ方向に45度程度傾けるためのバイアス磁界（以下、横バイアス磁界といいう）を必要とする。その磁界印加方法としてはたとえば、磁界検出素子の上に絶縁層を介して電流線

を配置し、その電流線に流れる電流により発生する磁界を用いることができる。TMR素子を用いるばあいには、スペーサーはアルミニウムの自然酸化膜のような、ビンホールや歪みのない極薄の絶縁膜である。また電極8a、8bをそれぞれ第1の強磁性層と第2の強磁性層あるいはその逆に接続する。いずれのばあいも、感磁部である強磁性層はフラックスガイドの所定の一部分上に積層されて強磁性層の磁化がフラックスガイドの磁化と磁気的に結合されており、かつ、フラックスガイドはヘッド高さ方向に対して磁界検出素子高さよりも高い位置まで連続している構成は同じである。前記強磁性層は磁界検出素子の感磁部とされるため、Ni<sub>79</sub>-Fe<sub>21</sub>などの軟磁気特性を有する材料が用いられる。また磁界検出素子がGMRのばあい、スペーサーは第1の強磁性層と第2の強磁性層の交換結合を切り離すために非磁性であり、第1の強磁性層および第2の強磁性層との界面で電子の散乱の小さい材料が適しており、例として銅をあげることができる。第2の強磁性層は反強磁性層によって磁化の向きが固定されるものであり、例として第1の強磁性体と同じくNi-Feがあげられる。さらに、反強磁性層は、交換結合磁界が大きく、交換結合磁界がなくなる温度であるブロッキング温度が高く、実用的な耐食性を有する材料が用いられ、例としてIr-Mnなどをあげることができる。

【0045】つぎに本実施の形態にかかる磁気ヘッドの動作について説明する。図4に本発明の一実施の形態であるヘッドと、媒体7の磁化遷移領域41がヘッドの\*

$$R = (M_1 \cdot T_1) / (M_f \cdot T_f) \quad (1)$$

によってえられる比Rを0.6程度にしたのでフラック

スガイドの磁化回転に対する第1の強磁性層31の磁化の影響は小さく、これはフラックスガイド2のみを考慮したばあいと同程度となる。第1の強磁性層31の磁化回転角すなわちフラックスガイドの磁化回転角と反強磁性層34に固定された第2の強磁性層33のお互いの磁化の相対角度に相当した抵抗の変化がえられる。この抵抗変化を利用して、たとえば図2において、一定値のセンサ電流を電極8aから電極8bへ流すことにより磁界検出素子3の抵抗変化に対応して電極8aと8bとのあいだの電圧変化として信号をうることができる。

【0046】つぎに、図5に示したように、磁化遷移領域41が長手方向に順次相対的に移動したばあいは、磁化遷移領域41近傍からでた磁束はフラックスガイド2に流入するよりも、一方の磁気シールド（ここでは上磁気シールド12）に直接流入するようになるため、磁界検出素子3における第1の強磁性層31の磁化回転角は小さくなる。すなわち、下ギャップ長4a、上ギャップ長4bが狭いほど磁気ヘッドの長手方向の空間分解能は向上する。一方、いったんフラックスガイドに流入した磁束が磁界検出素子3まで届かず、磁気シールドに抜け出す割合は、下ギャップ長4a、上ギャップ長4bが狭※50

\* フラックスガイド2の直下に来たばあいの側面から見た断面説明図を示す。また、磁化遷移領域41が長手方向に順次相対的に移動したばあいの側面から見た断面図を図5および図6に示す。図4、図5および図6において、7は磁気記録媒体（媒体）であり、41は磁化遷移領域であり、42は磁束の流れ（以下、単に「磁束」ともいう）であり、その他の符号は図1と共通である。また、磁束の流れを示すためにフラックスガイドなどはハッチングを省略して示した。ここで、媒体の磁化方向10は、磁化遷移領域41をはさんでN極とS極とが対向するように設定されており、したがって磁束42も磁化遷移領域をはさんで矢印が対向するように図示されている。図4に示したように、磁束42は媒体7からフラックスガイド2に流入して、大部分はフラックスガイド2の摺動面1から遠い側の端面近くまで達し、下磁気シールド11、および上磁気シールド12に抜け、一部はフラックスガイド2の途中から下磁気シールド11、および上磁気シールド12に抜けける。ただし磁束42は矢印の方向と長さで磁束の流れる方向と数の大きさを概念的に示している。フラックスガイド2の各部分は流れる磁束に応じて一定の磁化回転が行われている。磁界検出素子3として用いたGMR素子の感磁部に相当する第1の強磁性層31の磁化はフラックスガイド2の磁化と交換結合により結合させているので、感磁部である第1の強磁性層31ではフラックスガイド2の磁化回転と同程度の磁化回転が起こる。詳しくは後述するが、式（1）：

【0047】つぎに本発明の実施の形態1.をより詳細に説明する。図7は、保磁力340kA/m、残留磁化0.42T、媒体厚0.2μmの媒体を用いたばあいのフラックスガイド内の磁束密度の分布を示すグラフである。横軸は（摺動面からの距離）/（ギャップ長）を示しており、縦軸はギャップ長を示している。また、図7の（b）は、図7の（a）のうち、（摺動面からの距離）/（ギャップ長）の0から10までと、磁束密度（T）の0.8から1までとの範囲を拡大して示している。図7においてフラックスガイド高さおよび摺動面からの距離は、いずれもギャップ長で規格化して、フラックスガイド内の磁束密度が示されている。すなわち、フラックスガイド高さをギャップ長で除した値Qをパラメータとし、値Qが10、20、30、40または100となるようにフラックスガイド高さを設定したそれぞれのヘッドにおいて、同様にギャップ長で規格化した、摺動面からの距離を変化させたときフラックスガイド内の磁束密度がどのように変化するかが示されている。ただし、ヘッドと媒体との配置関係は図4に示した配置と同様であり、フラックスガイド2の飽和磁束密度は1T、フラックスガイドの膜厚は10nmである。前述のよう

15

に摺動面からの距離をギャップ長で除して規格化したのは、後述する図15に示すように、フラックスガイド内の磁束密度を一定とすると摺動面からの距離とギャップ長とは比例の関係にあるためである。図7に示されるように、フラックスガイド中の磁束密度は、規格化した摺動面からの距離1～4で最大である。そのため、磁界検出素子3の配置は、規格化した引き込み高さ21を1、規格化した磁界検出素子高さ22を3以下にするとともに磁束密度が高くなり、したがって再生感度が高くなることがわかる。しかしながら、試作したヘッドの実施の形態では製造精度の都合や要求される信頼性を考慮して、上ギャップ長および下ギャップ長をいずれも0.1μmとし、引き込み高さ21は0.3μm、磁界検出素子高さ22は0.5μm程度とした。引き込み高さは摺動面と、磁界検出素子の、摺動面に近い側の端面との距離をあらわしているが、引き込み高さは0.1μm以上で、かつ、磁界検出素子と最も近接している磁気シールドとの距離の30倍を超えない範囲で定める。

【0048】ここで、0.1μmと限定する理由は、耐摩耗性の観点以外にも、ヘッドが媒体表面の凹凸中の突起と接触するときに発生する摩擦熱から生じるフラッシュ温度の電磁変換特性に与える影響（以下、サーマルアスペリティという）が事実上無視できるからである。本実施の形態において試作する磁気ヘッドでは、引き込み高さが0.05μmでは、サーマルアスペリティによる再生出力の変動が20～50%程度発生するのに対し、引き込み高さが0.1μmでは10%以下となっている。また、前記30倍を超ないと限定する理由は、図7から明らかなように、フラックスガイド高さによらず、30倍以上ではフラックスガイド中を磁束がほぼ通過しないためである。また、規格化したフラックスガイド高さが30のものと、40～100のものを比較すると、規格化した摺動面からの距離が30以下において、同程度の磁束密度分布である。本発明にかかるヘッドでは、電極8aと8bとのあいだを流れるセンス電流はフラックスガイドにも分流し、全体としての磁気抵抗変化率を低下させるので、この観点からはフラックスガイド高さ20は小さい方が望ましい。このため、試作ヘッドのもとでは、フラックスガイド高さ20は3μmが最適である。

【0049】実施の形態2. つぎに本発明のヘッドの製法を、試作したヘッドの一例をもとに以下に図を用いて説明する。図8、9、10、11、12、13および14は、本実施の形態にかかるヘッドの製造工程を示す説明図であり、これらの図において、3bはGMR素子であり、13は基板であり、14は下ギャップであり、15は絶縁膜であり、61はレジスト（フォトレジスト）であり、その他の符号は、図1～図7までに示した符号と同一である。なお、以下の図は上面図とその下およびその右にそれぞれ、摺動面からみた断面説明図、側

16

面から見た断面説明図を同時に示している。

【0050】まず、基板13として絶縁膜に被われたアルミナ・チタン・カーバイド基板（以下、アルチック基板という）に第1の磁気シールドである下磁気シールド11となるCo-Zr-Nb膜を1μm、スパッタリング法により成膜し、所定の形状に写真製版技術を用いてエッチングを行い（工程(a-1)）、その後、下ギャップ14となるアルミナ絶縁膜を0.1μm成膜し（工程(a-2)）、磁界検出素子としてGMR素子3bをスパッタリング法で成膜したところを図8に示す。GMR素子3bを形成するため反強磁性層としてNiOを50nm、第2の強磁性層33としてバーマロイを3nmおよびCoを1nm、非磁性層としてCuを2.3nm、2層からなる第1の強磁性層としてCoを0.5nmおよびバーマロイを4nmを順次積層して形成した（工程(a-3)）。またGMR素子3bの上下には保護膜および下地膜（図示せず）を設けた。つぎに、図9に示すごとく磁界検出素子高さ22を形成するためにレジスト61を形成した（工程(a-4)）。つぎに、図10に示すごとく、余剰のGMR素子3bのエッチングを行い、磁界検出素子高さ22を形成した。つぎに、図11に示すごとく、たとえばアルミナからなる絶縁膜15を磁界検出素子の厚さに相当する52nm程度成膜して磁界検出素子高さを規制した（工程(a-5)）。

【0051】つぎに図12に示すごとくリフトオフ法によりレジスト61を除去し、逆スパッタ法などでGMR素子3bの感磁部である第1の強磁性層と交換結合するように表面を清浄にしたのち、フラックスガイド2としてCo-Zr-Nbを10nm成膜した（工程(a-6)）。つぎに、図13に示すごとくトラック幅に相当する幅のレジスト62を形成し、電極8aおよび8b用にCuの膜を厚さ150nm成膜したのち、リフトオフ法でレジストを除去した（工程(a-7)）。つぎに、図14に示すごとく流出高さ23に対応するフラックスガイドの後端を決めるために、レジスト形成、エッチング、レジスト除去を行った（工程(a-8)）。ここでは、流出高さが0.3μmとなるようにした。そののちは、上ギャップ16（図示せず）の形成（工程(a-9)）、第2の磁気シールド膜である上磁気シールド12（図示せず）の形成（工程(a-10)）、記録ヘッドの形成、保護膜の形成、電極引き出し部の形成など（いずれも図示せず）を行い、引き込み高さ21を決めるスライダー加工を行って、試作ヘッドをえた。ここでは引き込み高さ21は0.3μmとした。

【0052】また、アニールに関してはたとえば工程(a-1)後、下磁気シールド膜の軟磁気特性の向上を図るために、トラック幅方向に直流磁界10,000A/m程度を印加して350度で行うアニールや、工程(a-8)後、第2の強磁性層の磁化容易軸をヘッド高さ方向にし第1の強磁性層およびフラックスガイドの磁化容易軸を

17

トラック幅方向にするために、アニール炉中で250°Cに昇温しヘッド高さ方向に直流磁界80,000A/m程度を印加して1時間程度保持したのち、170°Cにしトラック幅ヘッド高さ方向に直流磁界10,000A/m程度を印加して1時間程度保持するアニールを適宜行った。磁化の方向については、フラックスガイド2および第1の強磁性層31の磁化容易方向はほぼトラック幅方向であり、第2の強磁性層33の磁化容易方向はほぼフラックスガイド高さ方向に設定した、また、磁気シールドに関しても磁化容易方向はほぼトラック幅方向とした。

【0053】この試作したヘッドと、保磁力340kA/m、残留磁化0.42T、媒体厚0.2μm、表面の平均粗さRaが8nmのメタル塗布のフレキシブル媒体とを用いて記録再生特性を測定したところ、サーマルアスペリティーやバルクハウゼンノイズのない安定した出力波形がえられた。

【0054】実施の形態3。つぎに上ギャップ14および下ギャップ16と引き込み高さ21の関係について説明する。図15は磁気シールドとフラックスガイドとのあいだの距離すなわち上ギャップ14および下ギャップ16に対してフラックスガイド内部の磁束密度が0.2Tおよび0.05Tになる摺動面からの距離の関係を示したグラフである。図中、「片側磁気シールド」は磁気シールドが上下いずれか一方のみにあるばあいを示し、「両側磁気シールド」は上下の磁気シールドがフラックスガイドに対して同一の距離にあるばあいをいう。また、フラックスガイド高さ20は10μm、その厚さは10nmとした。同図より、磁気シールドとフラックスガイドとのあいだの距離と、磁束が到達する距離はほぼ比例することがわかる。また、磁気シールドを片側だけにしても、両側に等距離に存在するばあいと顕著な違いはないことがわかる。また、抵抗変化率の20%以上を使えるのは、摺動面からの距離が磁気シールドとフラックスガイドとのあいだの距離の20倍程度までであり、抵抗変化率の5%以上を使えるのは30倍程度までであるから、引き込み高さは磁気シールドとフラックスガイドとのあいだの距離の30倍以下、望ましくは20倍以下とする必要がある。なお、この関係はフラックスガイドの膜厚が5nmから20nmまでの範囲では、ほとんど変化しない。また、フラックスガイドの透磁率は100程度以上あれば、これらの関係が成立する。

【0055】また、図16は、本実施の形態にかかる磁気ヘッドの側面から見た断面説明図である。図に示した符号は図1に示した符号と共通である。図16に示すように上ギャップおよび下ギャップの両方もしくは片方を摺動面上では狭くし、ヘッド内部では広くすると、高い線記録密度をうるとともに、フラックスガイド2の中の磁束が到達する距離が伸びるので電磁変換特性上は望ましい。

18

【0056】実施の形態4。つぎにフラックスガイドの流出高さ23について説明する。図17は、引き込み高さ21が0.3μmで、フレキシブル媒体を用いて記録再生特性を測定したばあいの、流出高さ23と再生出力の関係を示したグラフである。横軸は磁界検出素子高さ(GMR高さ)に対する流出高さの比を示しており、縦軸は流出高さがないばあいの再生出力に対する再生出力の比(相対再生出力)を示している。この図17に示した結果によれば、磁界検出素子高さに対する流出高さの比が0.5までは急激に再生出力が向上し、それ以上ではあまり変化しないことがわかる。のことより、流出高さは磁界検出素子高さの2分の1以上あることが望ましいことがわかる。逆に流出高さは磁界検出素子高さの10倍を超えると、センス電流のうちフラックスガイドの流出高さを構成する部分に分流する電流が磁界検出素子に流れる電流より大きくなり、ヘッド全体でみたときの磁気抵抗変化率が著しく低下するので、10倍までの範囲と限定する。なお、同図は引き込み高さ21が0.3μmのばあいを示しているが、引き込み高さが異なった値でも同様の依存性を示し、また、異なった媒体、異なったフラックスガイド膜厚、異なったフラックスガイド透磁率、上下で異なるギャップ長でも同様の依存性を示す。

【0057】実施の形態5。つぎにフラックスガイドと感磁部について説明する。本発明のヘッドでは、フラックスガイドの磁化と磁界検出素子の感磁部の磁化は交換結合により結合されているので、磁界検出素子の感磁部直下のフラックスガイドの磁化回転に必要なトルクは、磁界検出素子の感磁部が直下にない部分のフラックスガイドの磁化回転に必要なトルクより大きくなる。すなわち磁界に対する磁化回転の感度は低下する。ただし、この感度低下自体は実用上あまり問題ではなく、むしろ、感磁部の磁気特性がフラックスガイドの磁気特性に影響を与えるので、フラックスガイドの一軸異方性および磁化回転の安定性が損なわれることの方が重要な問題である。この問題点に対しては、感磁部の磁化と膜厚は小さければ小さいほどよい。しかしながら、感磁部が小さくなると、磁気抵抗変化率も小さくなる。

【0058】スパッタ法で成膜した飽和磁化1.1TのCo-Zr-Nb膜を直流磁界中で170°Cでアニールすることによって、異方性磁界が15エルステッド、磁化困難軸方向の保磁力が0.1エルステッド以下の一軸異方性膜がえられたので、これをフラックスガイド2に採用することにより、引き込み高さ21が0.3μm、磁界検出素子高さ22が0.5μm、流出高さ23が0.3μmのヘッドを試作した。結果を表1に示す。ただし、磁界検出素子3の構成は、感磁部以外は実施の形態2.と同様である。 $(M_1 \cdot T_1) / (M_f \cdot T_f)$ の値が、0.2以上0.7以下で良好なヘッド特性をえた。

【0059】

\* \* 【表1】  
表 1

試料番号	(飽和磁化) × (膜厚) (Tnm)		$(M_1 \cdot T_1) / (M_f \cdot T_f)$	相対出力 (%)	出力波形安定性	特許請求の範囲内
	感磁部	フラックスガイド				
1	6	13	0.46	100	○	○
2	8	13	0.62	93	○	○
3	10	13	0.77	81	×	
4	4	13	0.31	86	○	○
5	2	13	0.15	17	○	
6	15	20	0.75	54	×	○
7	6	20	0.30	76	○	○
8	4	20	0.20	58	○	○
9	6	7	0.86	102	×	
10	2	7	0.29	63	○	○

【0060】実施の形態6. つぎにフラックスガイド膜厚について説明する。図18は、記録ビット長0. 17  $\mu\text{m}$ におけるフラックスガイドの膜厚とヘッドの再生出力との関係を示したグラフである。ただし、ヘッド構成は引き込み高さ21が0. 3  $\mu\text{m}$ 、磁界検出素子高さ22が0. 5  $\mu\text{m}$ 、流出高さ23が0. 3  $\mu\text{m}$ 、シールド間距離210 nm、磁界検出素子3は反強磁性層34としてNiOを50 nm、第2の強磁性層33としてバーマロイを3 nmおよびCoを1 nm、非磁性層32としてCuを2. 3 nm、第1の強磁性層31としてCoを0. 5 nmおよびバーマロイを4 nm順次積層して形成したものであり、そのシート抵抗値は9  $\Omega$ 程度であり、フラックスガイドは組成Co<sub>91.6</sub>Zr<sub>2.5</sub>Nb<sub>5.9</sub>(at %)の膜で構成されている。なお、薄膜の抵抗値Rは、以下の式

$$R = (\text{抵抗率}) \times (\text{長さ}) / (\text{断面})$$

で表わされ、また断面は、以下の式

$$(\text{断面}) = (\text{幅}) \times (\text{厚さ})$$

で表されるので、薄膜の形状が正方形(長さと幅が等しい)であるとすると、(幅) = (長さ)であるから、結局RはR = (抵抗率) / (厚さ)となる。このRで表わされる抵抗値を、いわゆるシート抵抗値といふ。

【0061】図18に示したフラックスガイドの膜厚と、ヘッドの再生出力との関係より、フラックスガイドの膜厚が20 nmを超えると、急激に再生出力は低下する。この理由は、長手方向の分解能の低下だけでなく、フラックスガイド2に分流するセンス電流が増加する効果、およびフラックスガイド2に入った磁束の中で、磁

\* 界検出素子3を通過する前に、下磁気シールド11、および上磁気シールド12に流れる磁束が多くなる効果のためである。また、フラックスガイドの膜厚が5 nm未満になると、再生出力が低下するだけでなく、フラックスガイド2の体積と第1の強磁性層31の体積の比率の関係で、フラックスガイド2の磁気特性に第1の強磁性層31の磁気特性の影響が現れ始めるため、バルクハウゼンジャンプが現れるなど、再生出力が不安定になる。したがって、フラックスガイド2の膜厚Tfの好ましい範囲は0. 5 nm  $\leq$  Tf  $\leq$  20 nmである。

【0062】本実施の形態は、特定のヘッドの寸法、特定の材質について述べたが、引き込み高さ、磁界検出素子高さ、流出高さなどは、請求項3、4、5に記載した条件を満たす範囲であればよい。本実施の形態のばあい、磁界検出素子の材質は、NiO/Ni-Fe/Co/Cu/Co/Ni-Feという、この順に6層に積層された積層膜となっているが、各々色々な組み合わせが考えられる。たとえば、IrMn/Co-Fe/Cu/Co-Fe/Co-Zr-Nbという、5層の積層膜などがある。また、フラックスガイドの材質もたとえばバーマロイやCo系アモルファス(いずれも軟磁性膜)が考えられる。

【0063】実施の形態7. つぎに本発明にかかる磁気ヘッドの製法の他の実施の形態について説明する。実施の形態2において、NiOを50 nm、第2の強磁性層33としてバーマロイを3 nmおよびCoを1 nm、非磁性層32としてCuを2. 3 nm、第1の強磁性層31としてCoを0. 5 nmおよびバーマロイを4 nm

21

を順次積層したものについて既に述べた。この構成の磁気抵抗変化率は7%程度である。また、シート抵抗値は9Ω程度である。このGMR素子3bとCo-Zr-Nbによるフラックスガイドとの組み合わせにより、良好なヘッド特性をえたことについても既に述べた。しかしながら、反強磁性層3dをNiOで構成したばあい、ヘッド形成時に250度を超える高いプロセス温度を用いると、酸素の拡散などの原因により特性劣化が生じるばあいがあることがわかった。そこで、反強磁性層3dにMn系のものを用いるばあいについても検討した。

【0064】本発明のヘッドの製法の他の実施の形態を、試作したヘッドの一例をもとに以下に図を用いて説明する。図19、20、21、22および23は、実施の形態7にかかる磁気ヘッドの製造工程を示す説明図である。図19～23に示した符号は、図1～18に示した符号と共通である。なお、以下の図は上面図とその下およびその右にそれぞれ、摺動面からみた断面説明図、側面から見た断面説明図を同時に示している。

【0065】まず、基板13として、絶縁膜に被われたAl-Ti-C基板上に第1の磁気シールド膜である下磁気シールド11となるCo-Zr-Nbを1μm、スパッタリング法により成膜し、所定の形状に写真製版技術を用いてエッチングを行い(工程(b-1))、その後、下ギャップ14となるアルミナ絶縁膜を0.1μm成膜し(工程(b-2))、第1のフラックスガイド2cとしてCo-Zr-Nbを10nmを成膜(工程(b-3))、磁界検出素子としてGMR素子3bを形成するため第1の強磁性層31としてパーマロイを4nmおよびCoを0.5nm、非磁性層としてCuを2.3nm、第2の強磁性層としてCoを1nmおよびパーマロイを3nm、反強磁性層としてIr-Mnを10nmを順次積層した(工程(b-4))ところを図19に示す。またGMR素子3bの上下には保護膜と下地膜も設けた(図示せず)。つぎに、図20に示すごく磁界検出素子高さ22を形成するためにレジスト63を形成して磁界検出素子高さを規制した(工程(b-5))。

【0066】つぎに、図21に示すごく、余剰の第1のフラックスガイド2cとGMR素子3bのエッチングを行い、磁界検出素子高さ22を形成した。つぎに、図22に示すごく、レジスト63を除去せず、第1のフラックスガイド2aと交換結合により磁気的に結合するように第2のフラックスガイド2dを成膜した。このとき、フラックスガイド2cと2dとは、ほぼ同一の組成および膜厚であることがフラックスガイド内の磁化回転運動におけるピン止め点をつくらないという観点から必要であり、このばあいは連続した膜として機能する。

【0067】つぎに図23に示すごくリフトオフ法によりレジスト63を除去した(工程(b-6))。以下は実施の形態2の図13以下と同様に、配線膜をリフトオフ法で形成する工程(工程(b-7))、フラックスガイド高

さを規制する工程(工程(b-8))、第2の絶縁層を形成する工程(工程(b-9))、第2の磁気シールドである上磁気シールドを形成する工程(工程(b-10))を行なってヘッドを作製する。

【0068】また、アニールに関してはたとえば工程(b-1)後、下磁気シールド膜の軟磁気特性の向上を図るために、トラック幅方向に直流磁界10,000A/m程度を印加して350°Cで行うアニールや、工程(b-8)後、第2の強磁性層の磁化容易軸をヘッド高さ方向にし

10 第1の強磁性層およびフラックスガイドの磁化容易軸をトラック幅方向にするために、アニール炉中で250°Cに昇温しヘッド高さ方向に直流磁界80,000A/m程度を印加して1時間程度保持したのち、170°Cにしトラック幅ヘッド高さ方向に直流磁界10,000A/m程度を印加して1時間程度保持するアニールを適宜行う。

【0069】この試作したヘッドと、保磁力340kA/m、残留磁化0.42T、媒体厚0.2μm、平均表面粗さRa8nmのメタル塗布のフレキシブル媒体を用いて記録再生特性を測定したところ、サーマルアスペリティーやバルクハウゼンノイズのない安定した出力波形がえられた。

【0070】実施の形態8。なお、実施の形態7において、フラックスガイドはトラック幅方向に広がっているが、図24に示すように、フラックスガイドの幅を概ねトラック幅9に一致させ、クロストーク特性を向上させてもよい。図24は、本実施の形態8にかかる磁気ヘッドの下部からみた断面説明図である。図24に示した符号は、本明細書の他の図と共通である。このばあい、

30 電極8aおよび8bもGMR素子3と同様に摺動面から後退させた位置に設けると、摺動面に露出する材料の数が減るので耐摩耗性の観点からヘッドの信頼性が高まる。また、図24では、電極8aおよび8bがフラックスガイドに接触しているが、電極8aおよび8bの間隔をトラック幅9より大きくすることにより、磁界検出素子3のみに接触させると、センス電流の中で磁界検出素子3に流れない無効な電流を減らすことができる。なお、フラックスガイドに図25に示すような中間に非磁性の中間層51を挟んだ軟磁性層の2層52aおよび52bを積層した構造を採用すると、膜端面での静磁界エネルギーが下がるので、磁区構造が安定する。図25は、本実施の形態8にかかる磁気ヘッドの摺動面からみた断面説明図である。このばあい、2層の全厚がフラックスガイドとしての厚さとなる。

【0071】実施の形態9。また、図26に示すように、フラックスガイド安定層55として、電極8aおよび8bの下にFe-Mn、Ni-Mn、Pb-Mn、Cr-Mnなどの反強磁性層あるいはCo-Cr-Pt、Co-Cr-Taなど、外部磁界によって磁化の向きが容易に変化しないハード磁性材からなるハード磁性層5

5aおよび5bを設け、フラックスガイドの磁区の安定を図ってもよい。また、実施の形態8との組み合わせであってもよい。

【0072】実施の形態10. 実施の形態7でえた磁気ヘッドを用いて、表面粗さの異なるメタル塗布のフレキシブル媒体に対して記録再生実験を行った。表面粗さは、媒体の両面を各々5回、接触式表面粗さ計により測定距離5mmで測定した値の平均値を用いて評価し、ここでは測定値とRa(中心線平均粗さ)によって表わしている。図27は媒体の表面粗さと、摺動痕深さおよび再生出力が孤立波の半分になる波長λ<sub>50</sub>との関係を示す。実験条件はヘッドと媒体との相対速度5m/s、ヘッドサスペンションの荷重は5gf程度とした。この図より、平均表面粗さRaが10nm以下においては、ほぼ一定のλ<sub>50</sub>となること、最大摺動痕深さが5nm程度になることがわかる。最大摺動痕深さが10nm程度であると、数万時間の使用でもヘッド磨耗は100nm程度に収まる。高密度記録を実現し、かつ信頼性を確保するには媒体の平均表面粗さRaは10nm以下であることがよい。また、この条件はヘッド表面にダイヤモンドライカーボンなどの保護膜を形成すると、媒体の平均表面粗さRaが10nm以下では、より長寿命となるが、媒体の平均表面粗さRaが10nmより大きいと直ちに剥離が起きるため効果がないばかりか、媒体を傷つけるばかりがある。また、逆に媒体の平均表面粗さRaが0.1nm以上でないとヘッドと媒体の吸着が非常に発生しやすくなり、何らかの要因で媒体の回転数の変動、もしくは停止などの障害が起きたばあい、ヘッドと媒体が離れず、サスペンションが変形するなど致命的な損傷が発生するばかりがある。以上によって、媒体の平均表面粗さRaの好ましい範囲は0.1nm以上10nm以下である。

【0073】また、相対速度、サスペンションの荷重については異なる値を用いても、ほぼ同様の依存性を示す。ただし、ヘッドと媒体とのあいだを100nm以上にかなり大きくとると、平均表面粗さRaが10nm以上でもヘッド磨耗は小さくなる。ただし、このばあいスペーシングが大きいので、線記録密度が大きくならない。また、完全に接触状態にすると、同一の媒体の平均表面粗さRaでは、最大摺動痕深さが2~5倍となりヘッドの磨耗深さも同様である。

【0074】実施の形態11. なお、以上の実施の形態において、磁気ヘッドは再生に関わる部分のみについて示しているが、上磁気シールド12上に記録ヘッドを設けるのが通常である。図28は、本実施の形態にかかわる磁気ヘッドの側面からみた断面説明図であり、図29および図30は、本実施の形態にかかわるそれぞれさらに他の磁気ヘッドの側面からみた断面説明図である。図28、図29および図30において、71は記録ヘッドの下コアであり、72は上コアであり、73は記録ヘッ

ドの磁気ギャップであり、74は再生ヘッドと記録ヘッドとを分離する非磁性の分離層であり、75は記録ヘッドのコイルであり、その他の符号は図1と共通である。記録ヘッドは、図28に示すように、上磁気シールド12が記録ヘッドの下コアを兼ねるマージ型ヘッドであってもよいし、図29に示すように、記録ヘッドと再生ヘッドの磁気的な干渉を避けるために上磁気シールド12上に非磁性層74を介して記録ヘッド用の上コア72および下コア71を形成してもよい。また、図30に示すように、記録ヘッドが再生ヘッドの下にあり、プロセス上で先に形成するものであってもよい。このばあい、磁界検出素子の耐熱性を考慮することなく記録ヘッドのプロセスを組むことができる。記録ヘッドに関しては、いかなる材質、形状であってもよいが、上下コアともCo系アモルファスで形成すると、周辺のアルミナなどなる非磁性層とのあいだに偏磨耗段差がほとんど生じないので、実効スペーシングの増加による記録特性の低下がなく、良好な結果を得た。

【0075】実施の形態12. また、以上の実施の形態において、特定の材質、特定の寸法、たとえばフラックスガイドとGMR素子の上下関係などの特定の形状についてのみ示しているものもあるが、フラックスガイドはCo-Zr-Ni-MoなどCo系アモルファスであり、膜厚も5~20nmの範囲であればよく、またそれ以外のNi-Fe-Rhなどの結晶質の軟磁性材料や膜厚であっても、それぞれ実施の形態5、6以外においては制限されるものではない。また、以上の実施の形態ではGMR素子3bとしては、その仕事関数が非磁性層32のCuの仕事関数に近く、仕事関数の違いで界面散乱が起きるのを低減し、また拡散が起きにくくできるため、Cuの前後をCoとしているが、Fe-Co系やFe-Ni系、Co-Ni系など他の強磁性体であってもよい。また、第2の強磁性層33はCo単層であってもよく、また異なる強磁性体であってもよい。また、反強磁性層に関しては、Fe-Mn、Ni-Mn、Pb-Mn、Cr-MnなどMn系や、α-酸化鉄などであってもよく、また第2の強磁性層の磁化が信号により回転することがなければ、反強磁性層を用いなくてもよい。

【0076】また、磁気シールドや基板、絶縁膜など所定の特性がえられれば、材料に制限はない。たとえば、下磁気シールド11に関しては、高温プロセスを用いることができるため、センドストやFe-Ta-N、Fe-Zr-N、Fe-Nなど磁気特性をえるために高温のアニールが必要なものについても、適用が容易である。また、磁気シールド11または12では各種のメッキ膜を用いてもよい。また、絶縁膜に関しては、二酸化珪素や窒化珪素などを用いてもよい。また、基板に関しては、磁気ヘッドを形成するときに、成膜された磁性膜や絶縁膜の膜応力で基板が反らないようにヤング率が大きいものが好ましく、その材料の例としてはチタン酸カル

シウム、チタン酸バリウム、チタン酸カリウム、フォルステライトなどであってもよく、またセラミック以外でも、単結晶シリコンなどの単結晶基板他の材料であってもよい。

【0077】さらに、用いた媒体の磁気特性や媒体厚は他の値のものでもよく、磁性層はメタル塗布以外にも、酸化鉄、コバルト-酸化鉄、バリウム-フェライトなど他の材質であってもよい。

【0078】また、以上の実施の形態においては、磁界検出素子はスピンドルアーム構造のGMR素子であったが、たとえば感磁部がパーマロイで構成されるMR素子であってもよい。MR素子のばあい、横バイアスが必要であるが、横バイアスの印加方法は、たとえば近接部に軟磁性膜を配置するSALバイアス、シャントバイアス、別途バイアス線を設ける電流バイアスなどいずれであってもよい。また感磁部がフラックスガイドと交換結合により磁気的に結合できる磁界検出素子であれば、たとえば極薄の絶縁膜を介して2つの強磁性膜があり、その2つの強磁性膜の各々の磁化の方向の相対角度によりトンネル電流量が変化するため、抵抗変化率を20%以上にすることができるTMR素子などのいずれの磁界検出素子であってもよい。

【0079】このようにして作製した媒体と、実施の形態1から11にかかるヘッドとを用いて磁気記録装置を作製することができる。磁気記録装置としては、ディスク装置、テープ装置などで磁気記録装置ごとに構成が異なるが、ディスク装置のばあい、本発明のものほかに従来と同様に機構系としては、媒体を回転させるために、スピンドルモーターおよびその軸受け、媒体を固定するクランプなどを用い、ヘッドの位置決め、固定を行うために、アクチュエータ、アーム、サスペンションなどを用い、また電気系としては、機構系の制御回路、記録信号を変調し記録電流を発生させ、またヘッドからの信号を増幅、復調する電磁変換系回路、たとえばコンピューターと信号をやりとりするための入出力回路、それらに電気を供給する電源回路などを用い、さらにケース、ばあいによっては、ケース内を空冷するためのファンなどを用いて、組立、実装することによって作製する。テープ装置のばあいは、前述した構成とほぼ同様であるが、機構系が異なり、テープ送り系やヘッド回転系などで構成され、また電気系としてもロータリートランスなどを有している。

【0080】本実施の形態にかかる磁気記録装置においては、磁気シールドを有し、フラックスガイドがヘッド高さ方向に磁界検出素子よりも高い位置まで連続し、磁界検出素子の感磁部がフラックスガイドに交換結合で磁気的に結合したヘッド構成により、さらに望ましくは、フラックスガイドの引き込み高さが0.1μm以上、磁界検出素子と磁気シールドのあいだの距離の30倍以下というヘッドの構成により、媒体としてその平均

表面粗さRaが0.1nm以上10nm以下のものを好適に使用することができ、耐摩耗性が良好で信頼性が高いので長寿命となるという効果を奏する。

#### 【0081】

【発明の効果】本発明は以上説明したように構成されているので、以下に示すような効果を奏する。

【0082】本発明の請求項1にかかる磁気ヘッドにおいては、(1)前記強磁性層が前記磁束案内膜の一部分上に積層されて前記強磁性層の磁化が該磁束案内膜の

10 磁化を磁気的に結合されており、かつ、(2)前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記磁界検出素子よりも高い位置まで連続しているのでフラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入でき、かつフラックスガイドの、信号磁界に応じた磁化の回転と磁界検出素子の感磁部の磁化の回転を直接的に結合できるため、高感度で高効率かつ、耐摩耗性にすぐれたヘッドをうることができる効果を奏する。

【0083】本発明の請求項2にかかるヘッドは、前記磁界検出素子が巨大磁気効果素子であり、該巨大磁気効果素子が第1の強磁性層、非磁性層および第2の強磁性層からなり、該第1の強磁性層が前記磁束案内膜の一部分上に積層されて該第1の強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記巨大磁気効果素子よりも高い位置まで連続しているので、感磁部に相当する強磁性体層にフラックスガイドを直接的に結合できるため、高出力のヘッドをうることができる効果を奏する。また、磁界検出素子をTMR素子としたばあいで、磁界検出素子やフラックスガイドについて、同じ特徴や効果がえられるとともにGMR素子よりも大きな抵抗率がえられるのでさらに高出力のヘッドがえられる。

【0084】本発明の請求項3にかかるヘッドは、磁界検出素子の端部とヘッド摺動面の距離が0.1μm以上あることにより、耐摩耗特性に優れたヘッドがえられるとともに、該距離が上下の磁気シールドのもっとも近接している部分との距離の30倍を超えないことにより、フラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入できるため、高効率で高感度のヘッドをうることができる効果を奏する。

【0085】本発明の請求項4にかかるヘッドは、フラックスガイドの磁気ヘッド摺動面の反対側の端面と磁界検出素子の磁気ヘッド摺動面から遠い側の端面との距離が、磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離である磁界検出素子高さの1/2以上10倍以下であることにより、フラックスガイドの磁界検出素子に交換結合により磁気的に結合している部分まで、効率よく信号磁界に対応した磁束を導くことができるため、高効率で高感度のヘッドをうることができる効果を奏する。

【0086】本発明の請求項5にかかるヘッドは、 $(M_1 \cdot T_1) / (M_f \cdot T_f)$  が、0.2以上かつ

0.7以下にしたことにより、フラックスガイドの磁区の制御が容易であり、再生感度が高く、ノイズが小さいヘッドをうるることができる効果を奏する。

【0087】本発明の請求項6にかかるヘッドは、フラックスガイドの膜厚が0.5nm以上であることにより、フラックスガイドの磁気抵抗を減少させるとともに軟磁気特性の安定化ができ、フラックスガイドの膜厚が20nm以下であることにより、フラックスガイドのシート抵抗を増大させることができるので、フラックスガイドに分流するセンス電流を減少させ、高効率で高感度のヘッドをうることができる効果を奏する。

【0088】また、本発明の請求項7にかかる磁気記録装置においては、磁気記録媒体がフレキシブル媒体であり、前記磁気記録媒体の磁性層は磁性粒子とそれを保持するバインダーを具備しており、前記磁気記録媒体の平均面粗さが0.1nm以上10nm以下である磁気記録媒体と、軟磁気特性を有したフラックスガイドと前記フラックスガイドの上下に非磁性層を介してそれぞれ上磁気シールドおよび下磁気シールドを具備し、前記フラックスガイド、上磁気シールドおよび下磁気シールドの端部が磁気ヘッドの摺動面の一部を成し、前記フラックスガイド膜が記録信号に対応した磁束をヘッド摺動面より離れた位置にある磁界検出素子に導く磁気ヘッドにおいて、磁界検出素子の感磁部が前記フラックスガイドの一部分に積層され交換結合により磁気的に結合し、かつ前記フラックスガイドはヘッド摺動面の法線方向と一致するヘッド高さ方向に対し、磁界検出素子より高い位置まで連続させたヘッドを用いることにより、ヘッドと媒体との接触、摺動による機械的、熱的損傷を防ぎ、また高感度ヘッドと媒体との磁気的空隙が小さくできるので、高い記録密度密度を有する磁気記録装置をえ、かつ製造の容易な磁性層を塗布したフレキシブル媒体を用いているので、安価な磁気記録装置をうることができる。

【0089】本発明の請求項8にかかる磁気記録装置においては、前記磁界検出素子が巨大磁気効果素子であり、該巨大磁気効果素子が第1の強磁性層、非磁性層および第2の強磁性層からなり、該第1の強磁性層が前記磁束案内膜の一部分上に積層されて該第1の強磁性層の磁化が該磁束案内膜の磁化と磁気的に結合されており、かつ、前記磁束案内膜はヘッド高さ方向に対して前記巨大磁気効果素子よりも高い位置まで連続しているので、フラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入でき、かつフラックスガイドの、信号磁界に応じた磁化の回転と磁界検出素子の感磁部の磁化の回転を直接的に結合できるため、高効率のヘッドをうることができフラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入できるため、安価な磁気記録装置において高効率のヘッドをうることができる効果を奏する。

【0090】本発明の請求項9にかかる磁気記録装置

においては、前記摺動面と、前記磁界検出素子の、該摺動面に近い側の端面との距離が0.1μm以上であり、かつ、前記磁界検出素子と、該磁界検出素子に最も接近している磁気シールドとの距離の30倍を超えないことで、フラックスガイドに流入する信号磁界に対応した磁束を効率よくヘッド内部に導入できるため、安価な磁気記録装置において高効率のヘッドをうることができる効果を奏する。

【0091】本発明の請求項10にかかる磁気記録装置においては、前記磁束案内膜の前記摺動面とは反対側の端面と、前記磁界検出素子の前記摺動面から遠い側の端面との距離が、前記磁界検出素子のヘッド高さ方向の両端の距離の1/2以上10倍以下であるので、安価な磁気記録装置において高効率のヘッドをうることができる効果を奏する。

【0092】本発明の請求項11にかかる磁気記録装置においては、前記磁束案内膜の飽和磁化をMf、膜厚をTfとし、前記磁界検出素子の感磁部の飽和磁化をM1、膜厚をT1としたとき、 $0.2 \leq (M1 \cdot T1) / (Mf \cdot Tf) \leq 0.7$ であるので、フラックスガイドの磁区の制御が容易であり、安価な磁気記録装置において再生感度が高く、ノイズが小さいヘッドをうることができる効果を奏する。

【0093】本発明の請求項12にかかる磁気記録装置においては、前記磁束案内膜の膜厚Tfが0.5nm  $\leq$  Tf  $\leq$  20nmであるので、フラックスガイドの磁気抵抗を減少させるとともに軟磁気特性の安定化ができ、フラックスガイドの膜厚が20nm以下であることにより、フラックスガイドのシート抵抗を増大させることができるので、フラックスガイドに分流するセンス電流を減少させ、安価な磁気記録装置において高効率なヘッドをうることができる効果を奏する。

【0094】本発明の請求項13にかかる磁気記録装置においては、磁気記録媒体の平均表面粗さが0.1nm以上10nm以下であるので、安価な磁気記録装置をうることができるという効果を奏する。

【0095】また、本発明の請求項14にかかる磁気ヘッドの製法は、磁界検出素子高さを規制する工程、磁界検出素子高さの規制に用いたレジストを残したまま第2の絶縁膜を形成し、そのうちにリフトオフする工程を施したのちに、フラックスガイドを形成する工程、配線材料膜をリフトオフ法で形成する工程、フラックスガイド高さを規制する工程を行うことにより、磁界検出素子の感磁部が前記フラックスガイドの一部分に積層され交換結合により磁気的に結合し、かつ前記フラックスガイドはヘッド摺動面の法線方向と一致するヘッド高さ方向に対し、磁界検出素子より高い位置まで磁気的に連続したヘッドを容易に製造することができる。

【0096】また、本発明の請求項15にかかる磁気ヘッドの製法は、第1のフラックスガイドを形成する工

程、磁界検出素子を積層する工程を行い、磁界検出素子高さを規制する工程、磁界検出素子高さの規制に用いたレジストを残したまま第2のフラックスガイドを形成し、その後にリフトオフする工程、配線材料膜をリフトオフ法で形成する工程、磁束案内膜高さを規制する工程を行うことにより、磁界検出素子の感磁部が前記フラックスガイドの一部分に積層され交換結合により磁気的に結合され、かつ前記第1および第2のフラックスガイドはヘッド摺動面の法線方向と一致するヘッド高さ方向に対し、磁界検出素子より高い位置まで連続したヘッドを容易に製造することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1にかかる磁気ヘッドの側面から見た断面説明図である。

【図2】 本発明の実施の形態1にかかる磁気ヘッドの下部から見た断面説明図である。

【図3】 本発明の実施の形態1にかかるスピナブル構造のGMR素子の断面説明図である。

【図4】 本発明の実施の形態1にかかる磁気ヘッドと媒体の磁束の流れである。

【図5】 本発明の実施の形態1にかかる磁気ヘッドと媒体の磁束の流れである。

【図6】 本発明の実施の形態1にかかる磁気ヘッドと媒体の磁束の流れである。

【図7】 本発明の実施の形態1にかかるフラックスガイド中の磁束密度分布である。

【図8】 本発明の実施の形態2にかかる製造工程を示す説明図である。

【図9】 本発明の実施の形態2にかかる製造工程を示す説明図である。

【図10】 本発明の実施の形態2にかかる製造工程を示す説明図である。

【図11】 本発明の実施の形態2にかかる製造工程を示す説明図である。

【図12】 本発明の実施の形態2にかかる製造工程を示す説明図である。

【図13】 本発明の実施の形態2にかかる製造工程を示す説明図である。

【図14】 本発明の実施の形態2にかかる製造工程を示す説明図である。

【図15】 本発明の実施の形態3にかかるフラックスガイド中の磁束密度がある値の時の上下のギャップ長と摺動面からの距離の関係を示す図である。

【図16】 本発明の実施の形態3にかかる磁気ヘッドの側面から見た断面説明図である。

【図17】 本発明の実施の形態4にかかるフラックスガイドの流出高さと再生出力の関係を示す図である。

【図18】 本発明の実施の形態6にかかるフラックスガイドの膜厚と再生出力の関係を示す図である。

【図19】 本発明の実施の形態7にかかる製造工程を示す説明図である。

【図20】 本発明の実施の形態7にかかる製造工程を示す説明図である。

【図21】 本発明の実施の形態7にかかる製造工程を示す説明図である。

【図22】 本発明の実施の形態7にかかる製造工程を示す説明図である。

【図23】 本発明の実施の形態7にかかる製造工程を示す説明図である。

【図24】 本発明の実施の形態8を示す磁気ヘッドの下部から見た断面説明図である。

【図25】 本発明の実施の形態9を示す磁気ヘッドの摺動面から見た断面説明図である。

【図26】 本発明の実施の形態9にかかるフラックスガイドの断面説明図である。

【図27】 本発明の実施の形態10にかかる媒体の面粗さと摺動痕深さおよび再生出力が孤立波の半分になる波長λ<sub>50</sub>の関係を示す図である。

【図28】 本発明の実施の形態11を示す磁気ヘッドの側面から見た断面説明図である。

【図29】 本発明の実施の形態11を示す磁気ヘッドの側面から見た断面説明図である。

【図30】 本発明の実施の形態11を示す磁気ヘッドの側面から見た断面説明図である。

【図31】 従来のフラックスガイド型MRヘッドの側面からみた断面説明図である。

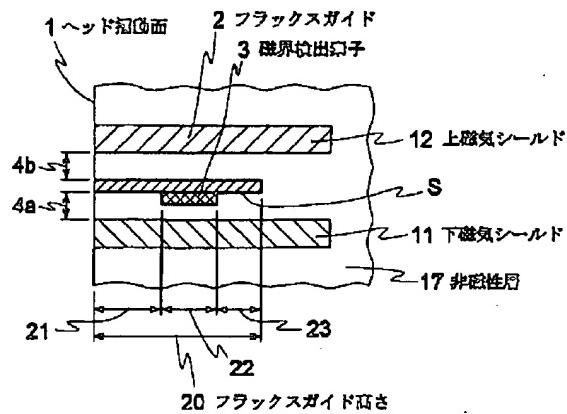
【図32】 従来のフラックスガイド型MRヘッドの上面からみた断面説明図である。

【図33】 従来のフラックスガイド型MRヘッドの上面からみた断面説明図である。

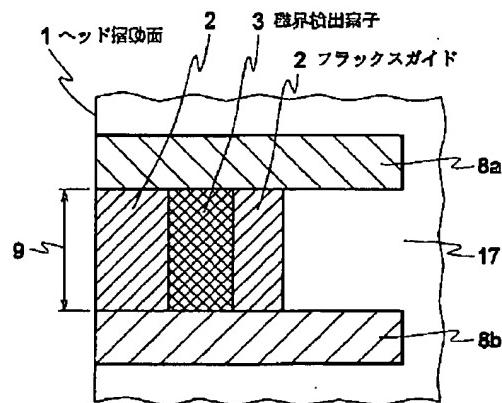
## 【符号の説明】

- 1 ヘッド摺動面、2, 2a, 2b, 2c, 2d フラックスガイド、3 磁界検出素子、3a MR素子、3b GMR素子、4a, 4b フラックスガイドと磁気シールドとの距離、5a, 5b フラックスガイドとMR素子3との磁気ギャップ、7 磁気記録媒体、8a, 8b 電極、9 トランク幅、11 下磁気シールド、12 上磁気シールド、13 基板、14 下ギャップ、16 上ギャップ、17 非磁性層、20 フラックスガイド高さ、21 引き込み高さ、22 磁界検出素子高さ、23 流出高さ、31, 31a, 31b 第1の強磁性層、32 スペーサ、33, 33a, 33b 第2の強磁性層、34 反強磁性層、41 磁化遷移領域、42 磁束の流れ、S 主面。

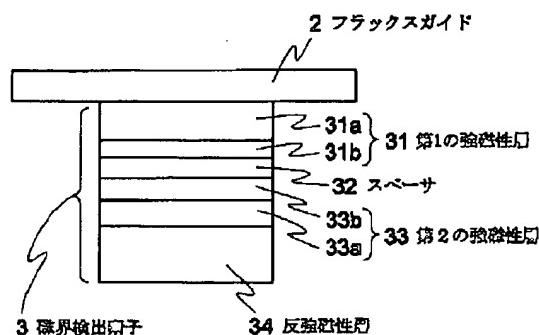
【図1】



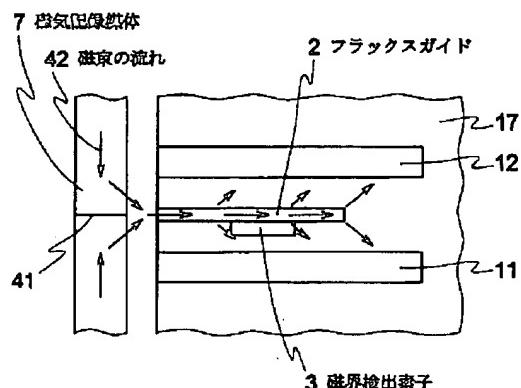
【図2】



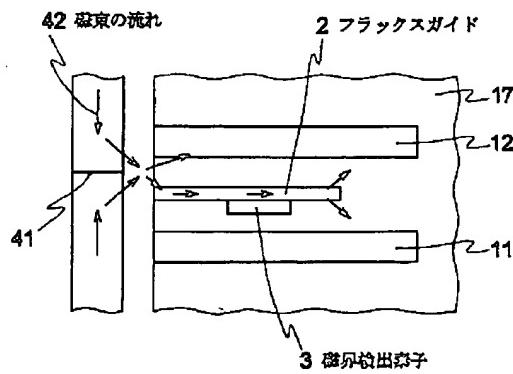
【図3】



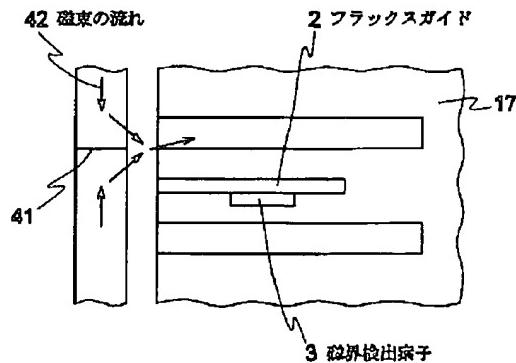
【図4】



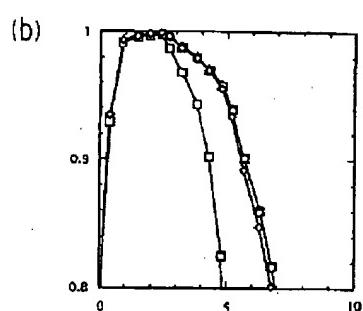
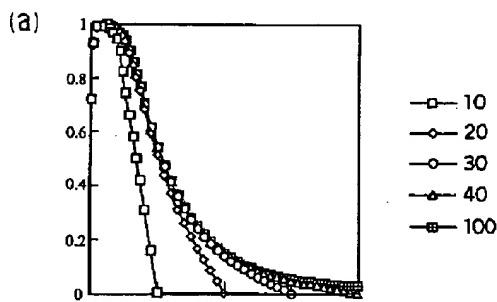
【図5】



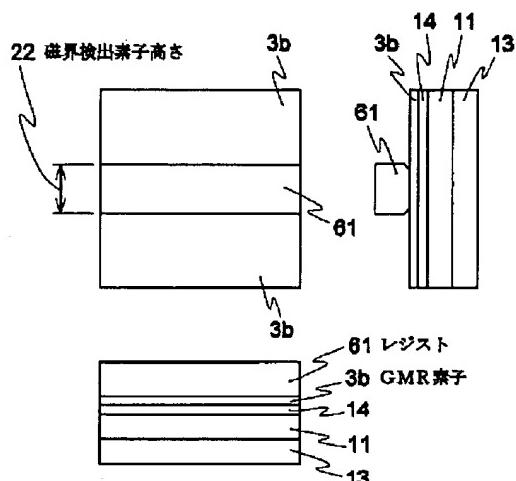
【図6】



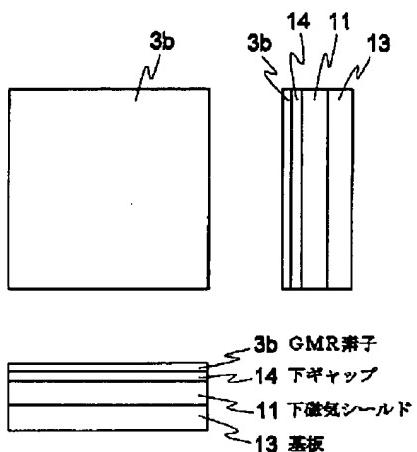
【図7】



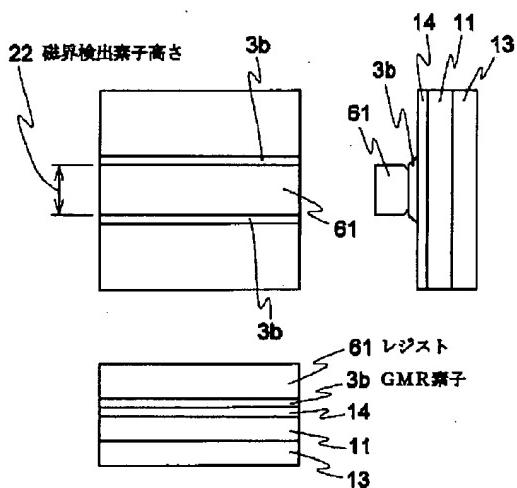
【図9】



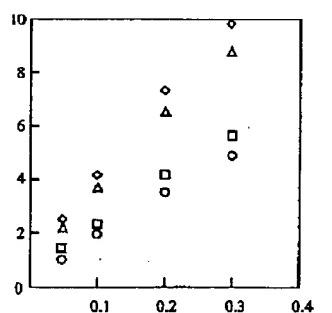
【図8】



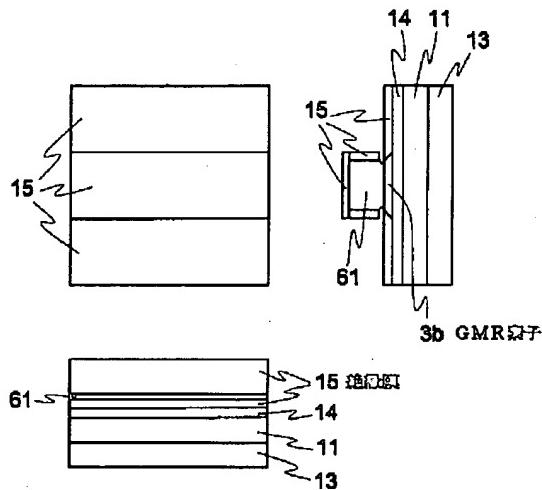
【図10】



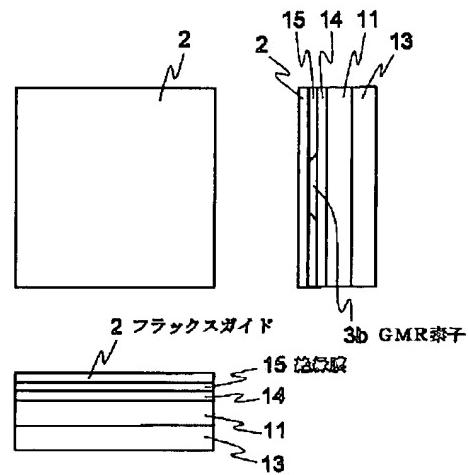
【図15】



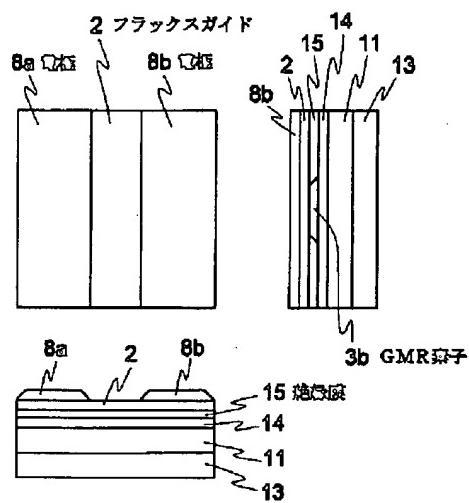
【図11】



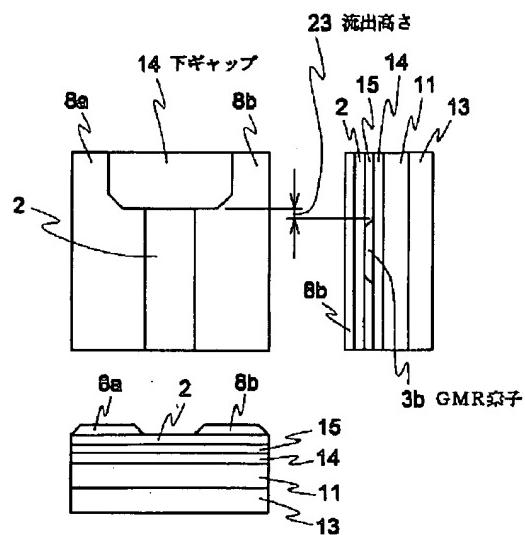
【図12】



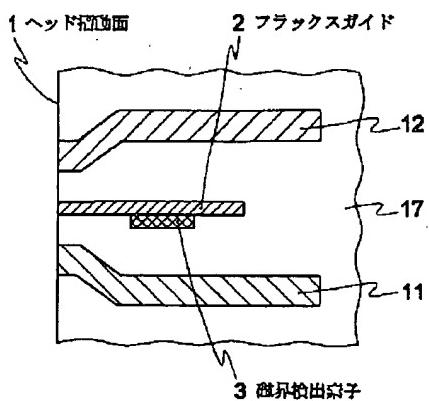
【図13】



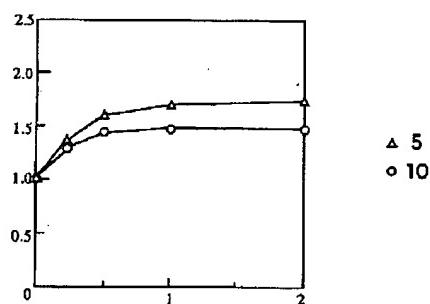
【図14】



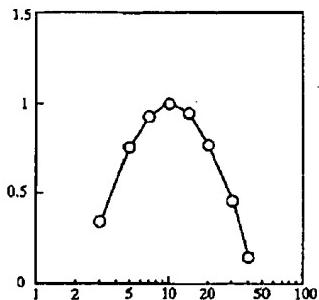
【図16】



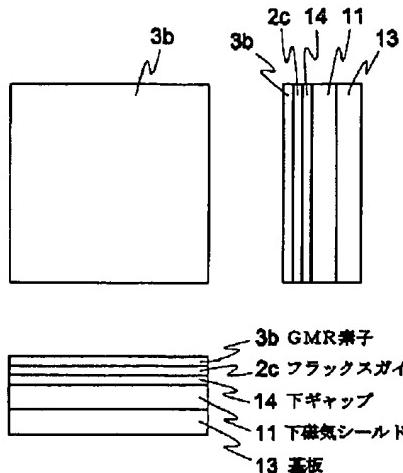
【図17】



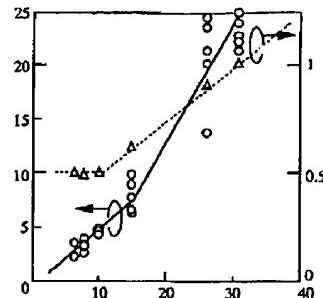
【図18】



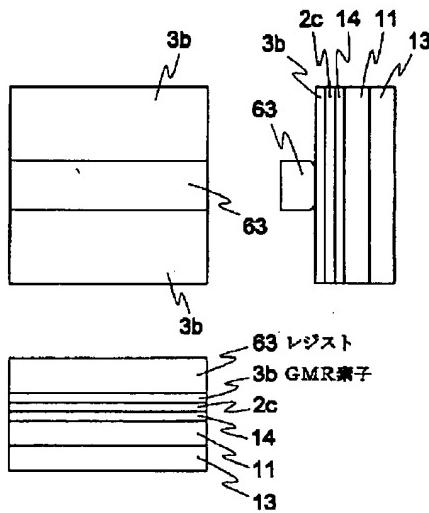
【図19】



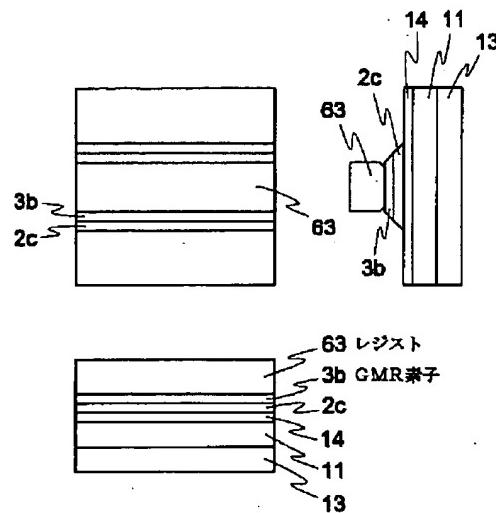
【図27】



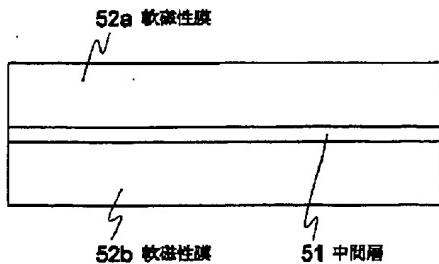
【図20】



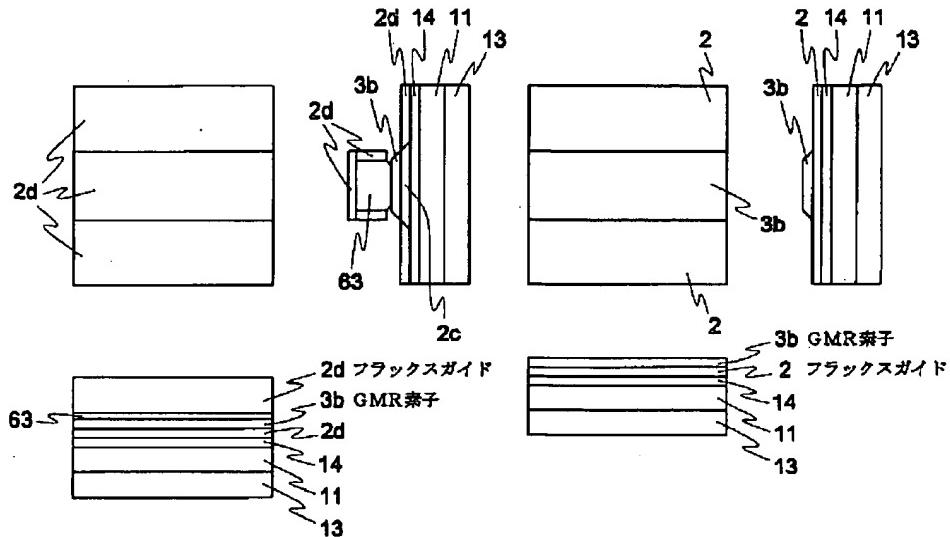
【図21】



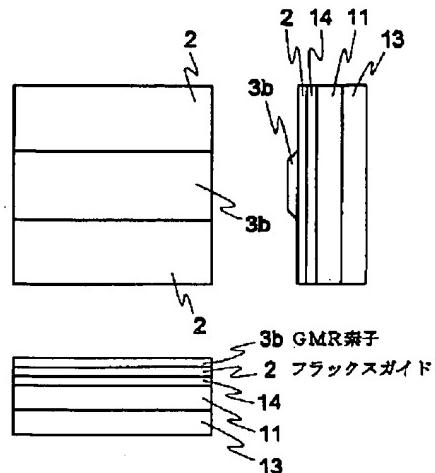
【図25】



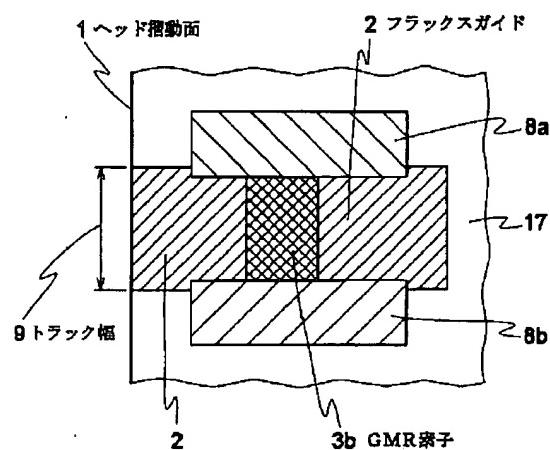
【図22】



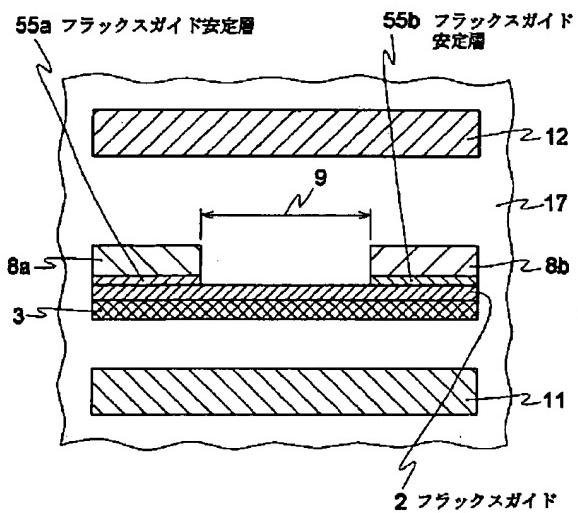
【図23】



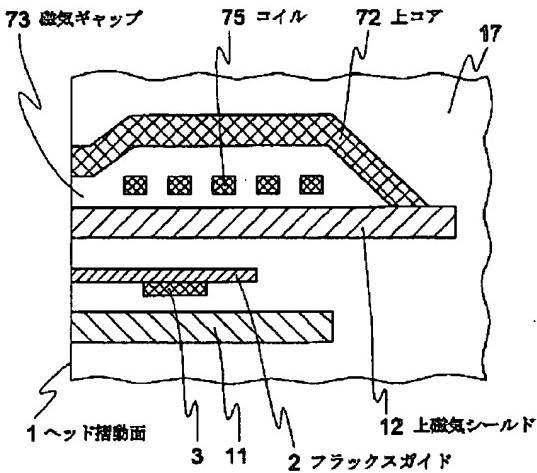
【図24】



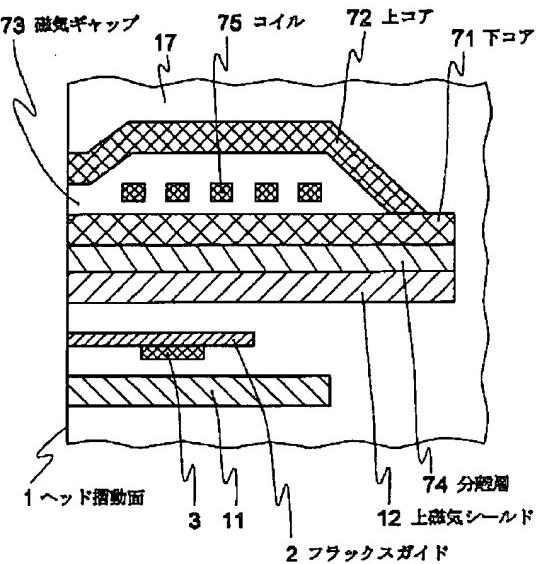
【図26】



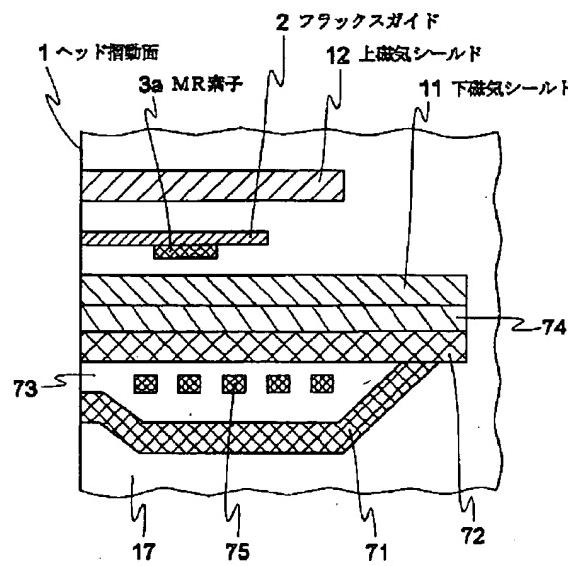
【図28】



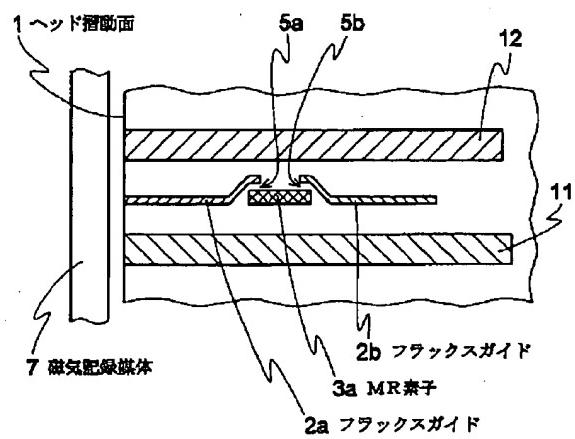
【図29】



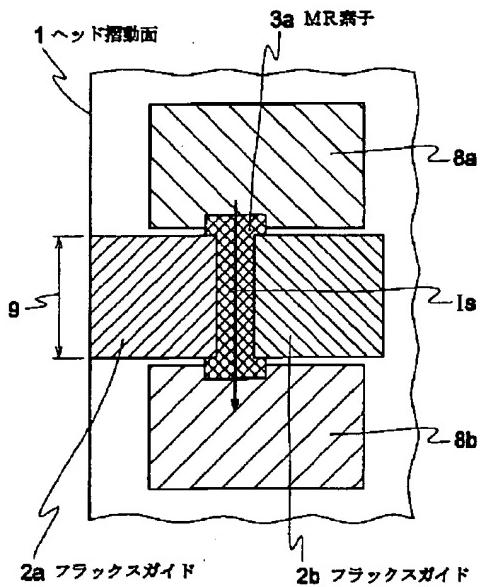
【図30】



【図31】



【図32】



【図33】

